



96  
**PATENT**  
Attorney Docket No. 402801

**IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE**

In re Application of:

SHIGIHARA et al.

Application No. 10/668,185

Art Unit: 2874

Filed: September 24, 2003

Examiner: Unassigned

For: SEMICONDUCTOR OPTICAL DEVICE

**CLAIM OF PRIORITY**

Mail Stop  
Commissioner for Patents  
P.O. Box 1450  
Alexandria, VA 22313-1450

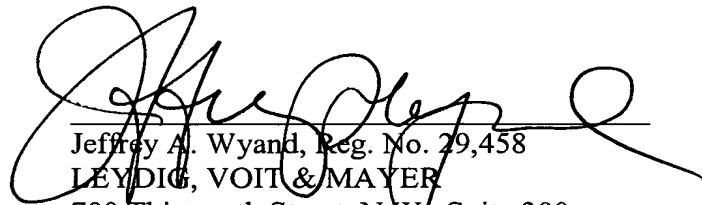
Dear Sir:

In accordance with the provisions of 35 USC 119, Applicants claim the priority of the following application or the applications (if more than one application is set out below):

Application No. 2002-283438, filed in Japan on September 27, 2002; Application No. 2003-57238, filed in Japan on March 4, 2003; and Application No. 2003-275554, filed in Japan on July 16, 2003.

Certified copies of the above-listed priority documents are enclosed.

Respectfully submitted,



Jeffrey A. Wyand, Reg. No. 29,458  
LEYDIG, VOIT & MAYER  
700 Thirteenth Street, N.W., Suite 300  
Washington, DC 20005-3960  
(202) 737-6770 (telephone)  
(202) 737-6776 (facsimile)

Date: January 6, 2004  
JAW:ves

日本国特許庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出願年月日 Date of Application: 2002年 9月27日

出願番号 Application Number: 特願2002-283438

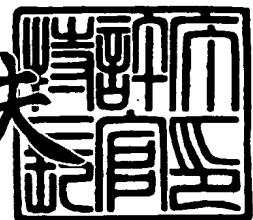
[ST. 10/C]: [JP2002-283438]

出願人 Applicant(s): 三菱電機株式会社

2003年10月21日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

今井康夫



【書類名】 特許願

【整理番号】 541887JP01

【提出日】 平成14年 9月27日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 H01S 5/028

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

【氏名】 鳴原 君男

【発明者】

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号 三菱電機株式会社内

【氏名】 川崎 和重

【特許出願人】

【識別番号】 000006013

【住所又は居所】 東京都千代田区丸の内二丁目2番3号

【氏名又は名称】 三菱電機株式会社

【代理人】

【識別番号】 100062144

【弁理士】

【氏名又は名称】 青山 葵

【選任した代理人】

【識別番号】 100086405

【弁理士】

【氏名又は名称】 河宮 治

【選任した代理人】

【識別番号】 100113170

【弁理士】

【氏名又は名称】 稲葉 和久

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 013262

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 半導体光素子

【特許請求の範囲】

【請求項1】 活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一対の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と

を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  が、前記導波層を導波する光の波長  $\lambda$  について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$  の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、前記波長  $\lambda$  の場合の反射率  $R(\lambda)$  を基準として、+2.0%以下となる前記波長  $\lambda$  を含む連続する波長帯域幅  $\Delta \lambda$  が、前記積層構造体の実効屈折率  $n_c$  と前記波長  $\lambda$  の場合の反射率  $R(\lambda)$  とについて、下記の関係式

$$R(\lambda) = ((n_c - n_f^2) / (n_c + n_f^2))^2$$

を満たす屈折率  $n_f$  の仮想単層反射膜を厚さ  $5\lambda / (4n_f)$  だけ前記端面部に形成した場合の仮想屈折率  $R'$  を基準として、+2.0%以下となる前記波長  $\lambda$  を含む連続した波長帯域幅  $\Delta' \lambda$  よりも広いことを特徴とする半導体光素子。

【請求項2】 活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一対の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と

を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  が、前記導波層を導波する光の波長  $\lambda$  について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$  の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、反射率が前記波長  $\lambda$  の場合の反射率  $R(\lambda)$  を基準として-1%から+2.0%の範囲内となる前記波長  $\lambda$  を含む連続する波長帯域幅  $\Delta \lambda$

を、前記波長  $\lambda$  で割った値  $\Delta \lambda / \lambda$  が 0.062 以上であることを特徴とする半導体光素子。

【請求項 3】 前記多層反射膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率  $n_c$  の平方根より大きい屈折率の第 1 反射膜と、前記実効屈折率  $n_c$  の平方根より小さい第 2 反射膜とを含むことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 4】 前記多層反射膜は、前記第 1 反射膜と前記第 2 反射膜とが交互に積層されていることを特徴とする請求項 3 に記載の半導体光素子。

【請求項 5】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第 1 層膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率  $n_c$  の平方根よりも小さい屈折率を有することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 6】 前記多層反射膜は、3種類以上の膜で構成されることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 7】 前記多層反射膜は、7層膜で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 8】 前記多層反射膜は、6層膜で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 9】 前記多層反射膜は、9層膜で構成されていることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 10】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第 1 層膜は、前記多層反射膜の中で最も大きい熱伝導率を有することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 11】 前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第 1 層膜は、窒化アルミニウムからなることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

【請求項 12】 前記多層反射膜の反射率の極小値は、1～32%の範囲内にあることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体光素子。

#### 【発明の詳細な説明】

##### 【0001】

##### 【発明の属する技術分野】

本発明は、光情報処理用の光源、光通信の信号、及びファイバアンプの励起光源などとして用いられる半導体レーザ素子、及び光信号を増幅する半導体増幅器及び光信号を変調する光変調器等の半導体光素子に関する。

### 【0002】

#### 【従来の技術】

半導体レーザ素子や、光変調器等の半導体光素子の端面部の導波層には、通常、反射膜がコーティングされている。この半導体光素子の端面部に設けられた反射膜（コーティング膜：屈折率  $n_1$ ）の膜厚  $d$  を  $\lambda / (4 n_1)$  の奇数倍とすると、反射膜の反射率は極小値をとる。さらに、端面部に導波層を含む積層構造体の屈折率  $n_c$  の平方根の屈折率を有するコーティング膜を形成することによって無反射膜が得られる。例えば、半導体レーザの端面の反射膜を無反射膜とした例（例えば、非特許文献 1 を参照）が知られている。

### 【0003】

半導体光素子の端面部の導波層を含む積層構造体（実効屈折率  $n_c = 3.37$ ）に膜厚を変えて形成された単層反射膜（屈折率  $n_1 = 1.449$ ）の反射率の波長依存性を考える。ここで、設定波長  $\lambda = 980 \text{ nm}$  で反射率が最小値をとるように設定する。反射率が最小値をとる場合とは、 $\lambda / (4 n_1)$  の奇数倍の膜厚の場合である。そこで、膜厚  $\lambda / (4 n_1)$  の単層反射膜の場合と、膜厚  $5\lambda / (4 n_1)$  の単層反射膜のそれぞれの場合について検討すると、膜厚  $\lambda / (4 n_1)$  の単層反射膜のほうが膜厚  $5\lambda / (4 n_1)$  の単層反射膜より反射率の極小値近傍における平坦部分が広いことがわかる。

### 【0004】

#### 【非特許文献 1】

I. Ladany, et al., "Scandium oxide antireflection coatings for superluminescent LEDs", Appl. Opt. Vol. 25, No. 4, pp.472-473, (1986)

### 【0005】

#### 【発明が解決しようとする課題】

上記のように半導体光素子の端面部の反射膜の膜厚  $d$  を  $\lambda / (4 n_1)$  の奇数倍で厚膜化した場合には、反射率の極小値近傍における低反射率領域の波長帯域

が狭くなり、半導体レーザ特性が反射膜の反射率の波長依存性の影響を受けて大きく変化するという問題があった。

### 【0006】

そこで、本発明の目的は、広い波長帯域にわたって低反射率を有する反射膜を備えた半導体光素子を提供することである。

### 【0007】

#### 【課題を解決するための手段】

本発明に係る半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一対の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と  
を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ が、前記導波層を導波する光の波長 $\lambda$ について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$ の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、前記波長 $\lambda$ の場合の反射率 $R(\lambda)$ を基準として、+2.0%以下となる前記波長 $\lambda$ を含む連続する波長帯域幅 $\Delta\lambda$ が、前記積層構造体の実効屈折率 $n_c$ と前記波長 $\lambda$ の場合の反射率 $R(\lambda)$ とについて、下記の関係式

$$R(\lambda) = ((n_c - n_f^2) / (n_c + n_f^2))^2$$

を満たす屈折率 $n_f$ の仮想単層反射膜を厚さ $5\lambda / (4n_f)$ だけ前記端面部に形成した場合の仮想屈折率 $R'$ を基準として、+2.0%以下となる前記波長 $\lambda$ を含む連続した波長帯域幅 $\Delta'\lambda$ よりも広いことを特徴とする。

### 【0008】

本発明に係る半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層を含む積層構造体と、

前記積層構造体の一対の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜と  
を備え、

前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  が、前記導波層を導波する光の波長  $\lambda$  について、 $\sum n_i d_i > \lambda / 4$  の関係を満足すると共に、

前記多層反射膜は、反射率が前記波長  $\lambda$  の場合の反射率  $R(\lambda)$  を基準として  $-1.0\%$  から  $+2.0\%$  の範囲内となる前記波長  $\lambda$  を含む連続する波長帯域幅  $\Delta\lambda$  を、前記波長  $\lambda$  で割った値  $\Delta\lambda / \lambda$  が  $0.062$  以上であることを特徴とする。

#### 【0009】

なお、 $\sum n_i d_i$  について、好ましくは  $\sum n_i d_i > 5\lambda / 4$  の関係を満たすことである。これによりさらに厚い反射膜とすることができる。また、上記波長帯域幅  $\Delta\lambda$  を、前記波長  $\lambda$  で割った値  $\Delta\lambda / \lambda$  は、好ましくは、 $0.070$  以上であり、さらに好ましくは  $0.090$  以上、またさらに好ましくは  $0.10$  以上である。低反射率の波長帯域幅  $\Delta\lambda$  が広いと、反射率の波長依存性が小さいので、導波光の波長が変化した場合にも特性変化を抑制できる。

#### 【0010】

前記多層反射膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率  $n_c$  の平方根より大きい屈折率の第1反射膜と、前記実効屈折率  $n_c$  の平方根より小さい第2反射膜とを含むことが好ましい。

#### 【0011】

また、前記多層反射膜は、前記第1反射膜と前記第2反射膜とが交互に積層されていることが好ましい。

#### 【0012】

さらに、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記導波層を含む前記積層構造体の実効屈折率の平方根よりも小さい屈折率を有することが好ましい。

#### 【0013】

またさらに、前記多層反射膜は、3種類以上の膜で構成されることが好ましい。

#### 【0014】

また、前記多層反射膜は、7層膜で構成されていることが好ましい。

【0015】

さらに、前記多層反射膜は、6層膜で構成されていることが好ましい。

【0016】

またさらに、前記多層反射膜は、9層膜で構成されていることが好ましい。

【0017】

また、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、前記多層反射膜の中で最も大きい熱伝導率を有することが好ましい。

【0018】

さらに、前記多層反射膜のうち、前記導波層に接する第1層膜は、窒化アルミニウムからなることが好ましい。

【0019】

またさらに、前記多層反射膜の反射率の極小値は、1.0～32%の範囲内にあることが好ましい。

【0020】

【発明の実施の形態】

本発明の実施の形態に係る半導体光素子について、添付図面を用いて説明する。なお、図面において、実質的に同一の部材には同一の符号を付している。

【0021】

まず、本発明の実施の形態に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜の反射率の算出について、図1から図5を用いて説明する。図1は、複素数表示された振幅反射率  $r$  を示す複素平面図である。図2は、半導体光素子の端面部の単層反射膜を示す概略断面図である。図3は、図2の単層反射膜に代えて2層反射膜を設けた場合の概略断面図である。図4は、図2の単層反射膜に代えて4層反射膜を設けた場合の概略断面図である。図5は、単層反射膜に代えて7層反射膜を設けた場合の概略断面図である。波長  $\lambda$  の光についての複素数表示された振幅反射率  $r$  は、次式(1)で表され、図1の複素平面図上に表すことができる

【数1】

$$r = r_r(\lambda) + i r_i(\lambda) \quad (1)$$

ここで、 $i$  は虚数単位 ( $i = (-1)^{1/2}$ ) であり、 $r_r(\lambda)$  は、実数部であり、 $r_i(\lambda)$  は、虚数部である。通常用いられる反射率は、上記の振幅反射率の 2 乗であって、この反射率がゼロとなる場合とは、下記式 (2 a)、(2 b) のように振幅反射率の実数部及び虚数部とが共にゼロとなる場合である。これらの関係式を解くことによって反射率がゼロとなる条件を得ることができる。

### 【数 2】

$$r_r(\lambda) = 0 \quad (2a)$$

$$r_i(\lambda) = 0 \quad (2b)$$

### 【0022】

一方、ゼロでない反射率を求めようとする場合には、図 1 の複素平面上で円周上の各点の振幅反射率が該当することとなるため、上記のような条件式が一義的には定まらない。そこで、導波する光の波長  $\lambda$  について所望の反射率が得られる仮想的な单層反射膜を考える。図 2 は、半導体光素子の導波層 10 の端面に单層反射膜 1 を設けた仮想单層反射膜の概略断面図である。反射膜 1 は大気等の自由空間 5 に面している。单層反射膜 1 の振幅反射率  $r$  を最小にする条件は、半導体光素子の導波層 10 を導波する光の波長  $\lambda$ 、单層反射膜 1 の屈折率  $n_f$  及び膜厚  $d_f$  を用いて、下記式 (3) で表される。

### 【数 3】

$$d_f = \frac{\lambda}{4n_f} (2m+1) \quad (3)$$

ここで、 $m = 0, 1, 2, 3$  等の負でない整数である。

### 【0023】

この仮想单層膜の振幅反射率  $r$  の最小値は、下記式 (4) で表される。

### 【数 4】

$$r = \frac{n_c - n_f^2}{n_c + n_f^2} \quad (4)$$

### 【0024】

なお、反射率  $R$  は、振幅反射率  $r$  について、 $|r|^2$  で表される。つまり、 $R = ((n_c - n_f^2) / (n_c + n_f^2))^2$  で表される。従って、反射率  $R =$

4 %を得ようとすると、半導体光素子の導波層の実効屈折率  $n_c = 3.37$  の場合には、上記式を解いて、単層反射膜1の屈折率  $n_f$  として、2.248又は1.499が得られる。しかし、通常、このような屈折率を有する単層膜は得られないことが多い。そこで、上記仮想単層反射膜を多層反射膜で置換することについて検討する。

### 【0025】

上記の単層反射膜に代えて、2層反射膜を設けた場合の反射率について検討する。図3は、仮想単層反射膜に代えて、端面部に2層反射膜を用いた場合の概略断面図である。この2層反射膜の反射率の極小値を所定値に設定する条件について、本発明者らによる検討結果を説明する。2層反射膜を構成する第1層膜1及び第2層膜2の位相変化をそれぞれ  $\phi_1$ 、 $\phi_2$  とすると、下記式(5)及び(6)のように定義される。

### 【数5】

$$\phi_1 = \frac{2\pi}{\lambda} n_1 d_1 \quad (5)$$

### 【数6】

$$\phi_2 = \frac{2\pi}{\lambda} n_2 d_2 \quad (6)$$

### 【0026】

この場合に、複素数表示による振幅反射率  $r$  は次式(7)で表される。

### 【数7】

$$r = \frac{\text{Re } 1 + i \text{Im } 1}{\text{Re } 2 + i \text{Im } 2} \quad (7)$$

ここで、 $i$  は虚数単位であり、 $\text{Re } 1$  及び  $\text{Re } 2$  はそれぞれ分子・分母の実数部であり、 $\text{Im } 1$ 、 $\text{Im } 2$  はそれぞれ分子・分母の虚数部である。

### 【0027】

上記式(7)の分子・分母における実部部  $\text{Re } 1$ 、 $\text{Re } 2$  と虚部部  $\text{Im } 1$ 、 $\text{Im } 2$  は、それぞれ次式(8a)から式(8d)のように表される。

## 【数8】

$$\text{Re}1 = (n_c - 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 + \left( \frac{n_1}{n_2} - \frac{n_2 n_c}{n_1} \right) \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (8 \text{ a})$$

## 【数9】

$$\text{Im}1 = - \left\{ \left( \frac{n_c}{n_2} - n_2 \right) \cos \phi_1 \sin \phi_2 + \left( \frac{n_c}{n_1} - n_1 \right) \sin \phi_1 \cos \phi_2 \right\} \quad (8 \text{ b})$$

## 【数10】

$$\text{Re}2 = (n_c + 1) \cos \phi_1 \cos \phi_2 - \left( \frac{n_2 n_c}{n_1} + \frac{n_1}{n_2} \right) \sin \phi_1 \sin \phi_2 \quad (8 \text{ c})$$

## 【数11】

$$\text{Im}2 = - \left\{ \left( \frac{n_c}{n_2} + n_2 \right) \cos \phi_1 \sin \phi_2 + \left( \frac{n_c}{n_1} + n_1 \right) \sin \phi_1 \cos \phi_2 \right\} \quad (8 \text{ d})$$

## 【0028】

また、電力反射率Rは、上記振幅反射率rを用いて $|r|^2$ で表される。この式(7)で表される振幅反射率が、式(4)で表される上記仮想単層反射膜の振幅反射率と等しくなるように厚さd1及びd2を決めればよい。

## 【0029】

図4は、単層反射膜に代えて、端面部に4層反射膜を設ける場合の概略断面図である。この4層反射膜の反射率が設定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一になる条件について検討する。4層反射膜の場合には、振幅反射率は下記式(9)で表される。

## 【数12】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (9)$$

## 【0030】

ここで、 $m_{i,j}$ (i, jは1又は2)は下記式(10)で表される。

## 【数13】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \quad (10)$$

なお、A, Bは、第1層膜1の膜厚A d 1、第2層膜2の膜厚A d 2、第3層膜3の膜厚B d 1、第4層膜4の膜厚B d 2とした場合の、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

## 【0031】

図5は、単層反射膜に代えて、導波層10の端面部に7層反射膜20を設けた場合の概略断面図である。この7層反射膜20の反射率が前記仮想単層膜の反射率と同一になるように設定する条件について検討する。7層反射膜20の場合には、振幅反射率は、4層反射膜と同様に下記式（11）で表される。

## 【数14】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (11)$$

## 【0032】

ここで、 $m_{i,j}$ （i, jは1又は2）は下記式（12）で表される。

## 【数15】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos O\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin O\phi_2 \\ -in_2 \sin O\phi_2 & \cos O\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (12)$$

なお、O, A, B, Cは、第1層膜11の膜厚O d 2、第2層膜12の膜厚A d 1、第3層膜13の膜厚A d 2、第4層膜14の膜厚B d 1、第5層膜15の膜厚B d 2、第6層膜16の膜厚C d 1、第7層膜17の膜厚C d 2とした場合の、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

### 【0033】

#### 実施の形態1.

本発明の実施の形態1に係る半導体光素子について、図5及び図6を用いて説明する。図5は、単層反射膜に代えて7層反射膜を設けた場合の概略断面図である。この半導体光素子は、例えば、半導体レーザ素子、光変調器、光スイッチ等である。この半導体光素子は、光が導波する導波層の端面部に所定波長を中心とした広い波長帯域にわたって低反射率を有する多層反射膜を設けている。このように低反射率の多層反射膜を設けることにより、例えば、半導体レーザ素子の場合にはいわゆる戻り光によるノイズ等の発生を低減することができる。また、光変調器及び光スイッチの場合には、信号を低損失で透過させることができる。また、この多層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率を有するので、発振波長が変化した場合や、信号の中心波長が変化した場合にも反射特性の波長依存性を抑制できる。

### 【0034】

以下、半導体光素子の端面部に設けた7層反射膜20について図5を用いて説明する。図5は、半導体光素子の端面部に設けた7層反射膜20の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10（等価屈折率n<sub>c</sub> = 3.37）の端面部に、アルミナの第1層膜11（屈折率n<sub>2</sub> = 1.62、膜厚O d 2）、酸化タンタルの第2層膜12（屈折率n<sub>1</sub> = 2.057、膜厚A d 1）、アルミナの第3層膜13（屈折率n<sub>2</sub> = 1.62、膜厚A d 2）、酸化タンタルの第4層膜14（屈折率n<sub>1</sub> = 2.057、膜厚B d 1）、アルミナの第5層膜15（屈折率n<sub>2</sub> = 1.62、膜厚B d 2）、酸化タンタルの第6層膜16（屈折率n<sub>1</sub> = 2.057、膜厚C d 1）、アルミナの第7層膜17（屈折率n<sub>2</sub> = 1.62、膜厚C d 2）が順に積層されている。また、第7層膜17は大気等の自由空間5と接している。

## 【0035】

この半導体光素子の端面部に設けられた7層反射膜20の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.2$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.45844$ 、 $\phi_2 = 1.14932$ である場合に波長 $980\text{ nm}$ で反射率2%が得られる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 22.13\text{ nm} / 76.47\text{ nm} / 243.44\text{ nm} / 69.52\text{ nm} / 221.31\text{ nm} / 69.52\text{ nm} / 221.31\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $923.7\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1590.57\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約6.49倍と非常に厚い。即ち、導波する光の所定波長 $980\text{ nm}$ について、その $5/4$ 波長よりも厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0036】

図6は、この7層反射膜20の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。ここで設定反射率のおよそ+1%が目標反射率である。この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって目標反射率の3%前後の平坦部分が得られている。即ち、波長 $968\text{ nm}$ から $1210\text{ nm}$ にわたって反射率は極小値の1.3%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 $980\text{ nm}$ の反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%~4.0%の範囲の連続した波長帯域は $242\text{ nm}$ である。この波長帯域を設定波長 $\lambda$ ( $= 980\text{ nm}$ )で割った値は約0.246であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、上述のように導波光の所定波長 $980\text{ nm}$ について $5/4$ 波長より厚い膜厚であるにもかかわらず、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

## 【0037】

## 実施の形態2.

本発明の実施の形態2に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図7を用いて説明する。図7は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、多層膜の構成において共通するが、設定波長 $\lambda$ が879 nmで設定反射率R( $\lambda$ )を2.0%としている点で相違する。各パラメータを、O=0.2、A=2.2、B=2.0、C=2.0とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1=0.45844$ 、 $\phi_2=1.14932$ である場合に波長879 nmで反射率2%が得られる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 19.85 \text{ nm} / 68.59 \text{ nm} / 218.35 \text{ nm} / 62.36 \text{ nm} / 198.50 \text{ nm} / 62.36 \text{ nm} / 198.50 \text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{\text{total}} = \sum d_i$ )は828.51 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1426.66 nmであり、所定波長980 nmについて1/4波長(=245 nm)の約5.82倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0038】

図7は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長861 nmから1098 nmにわたって反射率は極小値の1.3%から4.0%の範囲内に収まっている。この場合、導波光の所定波長980 nmを略中心として平坦部分が得られる。また、設定波長879 nmの反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域 $\Delta\lambda$ は237 nmである。この波長帯域を設定波長879 nmで割った値は約0.270であり、仮想单層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、上述のように導波光の所定波長980 nmについて5/4波長より厚い膜厚であるにもかかわらず、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。なお、ここで「所定波長」とは、導波層を導波する

光の波長であって、この場合には980 nmの光としている。一方、「設定波長」とは、上記所定波長を低反射率の平坦部の略中心となるように設定する波長である。

### 【0039】

次に、極小反射率を基準として+2.0%となる波長帯域の広さについて、この7層反射膜と仮想单層反射膜とを比較検討する。この7層反射膜の極小反射率は1.3%である。そこで、極小反射率を基準として+2.0%となる波長範囲、つまり反射率3.3%以下の範囲は波長866 nmから1089 nmである。即ち、波長帯域としては223 nmである。一方、仮想单層反射膜によって同一の極小反射率を実現しようとする場合、実効屈折率 $n_c = 3.37$ であるので、单層膜の屈折率 $n_f$ は1.637又は2.058とすればよい。例えば、図8に屈折率 $n_f = 1.637$ であって、膜厚 $d = 5\lambda / (4n_f)$ の仮想单層反射膜の波長依存性を示す。この仮想单層反射膜の極小反射率1.3%を基準として極小反射率+2.0%以内となる範囲は、波長952 nmから1009 nmである。即ち、波長帯域としては57 nmである。したがって、7層反射膜は、膜厚 $d = 5\lambda / (4n_f)$ の仮想单層反射膜に比べて低反射率の波長帯域が非常に広い。

### 【0040】

#### 実施の形態3.

本発明の実施の形態3に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図9を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980$  nmで設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.2$ 、 $A = 2.4$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.518834$ 、 $\phi_2 = 0.789695$ とすることによって波長980 nmで反射率3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 15.21\text{ nm} / 94.42\text{ nm} / 182.47\text{ nm} / 78.68\text{ nm} / 152.06\text{ nm} / 78.68\text{ nm} / 152.06\text{ nm}$ である。全体の膜厚(d

$d_{total} = \sum d_i$  ) は 753.58 nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、1330.83 nm であり、所定波長 980 nm の 1/4 波長 (= 245 nm) の約 5.43 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

#### 【0041】

図9は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 841 nm から 1014 nm にわたって反射率は 2.5% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の反射率 3.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、2.0% ~ 5.0% の範囲の連続した波長帯域は 173 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.177 であり、仮想单層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0042】

実施の形態4.

本発明の実施の形態4に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図10を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態3に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 1035$  nm で設定反射率  $R(\lambda)$  を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 0.2$ 、 $A = 2.4$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$  としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、 $\phi_1 = 0.518834$ 、 $\phi_2 = 0.789695$  とすることによって波長 1035 nm で反射率 3.0% とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は  $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 16.06 \text{ nm} / 99.72 \text{ nm} / 192.72 \text{ nm} / 83.10 \text{ nm} / 160.60 \text{ nm} / 83.10 \text{ nm} / 160.60 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 795.9 nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、1405.57 nm であり、所定波長 980 nm の 1/4 波長 (= 258.75 nm) の約 5.43 倍と非常

に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

#### 【0043】

図9は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長888 nmから1071 nmにわたって反射率は2.5%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1035 nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は183 nmである。この波長帯域を設定波長1035 nmで割った値は約0.177であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0044】

##### 実施の形態5.

本発明の実施の形態5に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図11を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980$  nmで設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.15$ 、 $A = 2.5$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.52082$ 、 $\phi_2 = 0.767337$ とすることによって波長980 nmで反射率4.0%とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 11.08\text{ nm} / 98.73\text{ nm} / 184.70\text{ nm} / 78.98\text{ nm} / 147.76\text{ nm} / 78.98\text{ nm} / 147.76\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は747.99 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1323.92 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約5.40倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制でき

る。

### 【0045】

図11は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長834nmから10121nmにわたって反射率は3.5%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は178nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.182であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0046】

#### 実施の形態6.

本発明の実施の形態6に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図12を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態5に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1040\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.15$ 、 $A = 2.5$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.52082$ 、 $\phi_2 = 0.767337$ とすることによって波長1040nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 11.76\text{ nm} / 104.77\text{ nm} / 196.00\text{ nm} / 83.82\text{ nm} / 156.80\text{ nm} / 83.82\text{ nm} / 156.80\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は793.77nmである。それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1404.95nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約5.73倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0047】

図12は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長885 nmから1074 nmにわたって反射率は3.5%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1040 nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は189 nmである。この波長帯域を設定波長1040 nmで割った値は約0.182であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

## 【0048】

## 実施の形態7.

本発明の実施の形態7に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図13を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、設定波長980 nmで目標反射率5.0%としている点で相違する。また、パラメータはO=0.15、A=2.5、B=2.0、C=2.0としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1=0.541022$ 、 $\phi_2=0.741397$ とすることによって波長980 nmで反射率5.0%とことができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 10.71 \text{ nm} / 102.56 \text{ nm} / 178.45 \text{ nm} / 82.05 \text{ nm} / 142.76 \text{ nm} / 82.05 \text{ nm} / 142.76 \text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は741.34 nmである。それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1391.41 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約5.38倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0049】

図13は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフ

の横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長843nmから1013nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は170nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.173であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0050】

実施の形態8.

本発明の実施の形態8に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図14を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態7に係る半導体光素子と比較すると、設定波長1035nmで設定反射率5.0%としている点で相違する。また、パラメータはO=0.15、A=2.5、B=2.0、C=2.0としている。さらに、酸化タンタル及びアルミナのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1=0.541022$ 、 $\phi_2=0.741397$ とすることによって波長1035nmで反射率5.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 11.31\text{nm} / 108.31\text{nm} / 188.47\text{nm} / 86.65\text{nm} / 150.77\text{nm} / 86.65\text{nm} / 150.77\text{nm}$ である。全体の膜厚( $d_t = \sum d_i$ )は782.93nmである。それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1391.41nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約5.68倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0051】

図14は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長890n

mから1070nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長1035nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は170nmである。この波長帯域を設定波長1035nmで割った値は約0.164であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0052】

#### 実施の形態9.

本発明の実施の形態9に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図15及び図16を用いて説明する。図15は、この半導体光素子の端面部の反射膜として、第1層膜に酸化タンタル膜を用いた7層反射膜30を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、7層反射膜30が導波層10側から酸化タンタル21／アルミナ22／酸化タンタル23／アルミナ24／酸化タンタル25／アルミナ26／酸化タンタル27の順に積層されており、導波層10側の第1層膜21が酸化タンタルである点で相違する。具体的には、7層反射膜30は、導波層10側から順に、酸化タンタルの第1層膜21（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚O d 2）、アルミナの第2層膜22（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚A d 1）、酸化タンタルの第3層膜23（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚A d 2）、アルミナの第4層膜24（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚B d 1）、酸化タンタルの第5層膜25（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚B d 2）、アルミナの第6層膜26（屈折率 $n_1 = 1.62$ 、膜厚C d 1）、酸化タンタルの第7層膜27（屈折率 $n_2 = 2.037$ 、膜厚C d 2）とが積層されている。なお、アルミナと酸化タンタルとが交互に積層されている点で実施の形態1に係る半導体光素子と共通する。

### 【0053】

この半導体光素子の端面部の7層反射膜30において、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率R（ $\lambda$ ）を2.0%とする。この場合、各パラメータをO=1.15、A=1.82、B=1.97、C=2.06とすると、アルミナ及び酸化

タンタルの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  がそれぞれ  $\phi_1 = 0.645821$ 、 $\phi_2 = 1.452041$  の場合に波長 980 nm で反射率を 2 % とすることができます。この場合、7 層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O_d 2 / A_d 1 / A_d 2 / B_d 1 / B_d 2 / C_d 1 / C_d 2 = 126.62 \text{ nm} / 113.17 \text{ nm} / 200.38 \text{ nm} / 122.49 \text{ nm} / 216.90 \text{ nm} / 128.09 \text{ nm} / 226.81 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 1134.46 nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  の積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、2174.63 nm であり、所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 (= 245 nm) の約 8.88 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

#### 【0054】

図 16 は、この 7 層反射膜 30 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 7 層反射膜は、目標反射率の 3 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 996 nm から 1119 nm にわたって反射率は 1.5 % から 4.0 % の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 2.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、1.0 % ~ 4.0 % の範囲の連続した波長帯域は 157 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.160 であり、仮想单層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 7 層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0055】

実施の形態 10.

本発明の実施の形態 10 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 17 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 9 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 908 \text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を 2.0 % としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 1.15$ 、 $A = 1.82$ 、 $B = 1.97$ 、 $C = 2.06$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、 $\phi_1 = 0.645821$ 、 $\phi_2 = 1.452041$

とすることによって波長908nmで反射率2.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚はO d 2 / A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 117.31nm / 104.85nm / 185.66nm / 113.49nm / 200.96nm / 118.68nm / 210.14nmである。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 1051.09nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 2014.81nm であり、所定波長980nmの1/4波長 (= 245nm) の約 8.22 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0056】

図17は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長924nmから1037nmにわたって反射率は1.5%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長908nmの設定反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域は145nmである。この波長帯域を設定波長908nmで割った値は約0.160であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0057】

実施の形態11.

本発明の実施の形態11に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図18を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態9に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜の構成において共通するが、設定波長  $\lambda = 980\text{nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 1.15$ 、  $A = 1.82$ 、  $B = 1.97$ 、  $C = 2.06$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、  $\phi_1 = 0.893399$ 、  $\phi_2 = 1.26984$  とすることによって波長980nmで反射

率3. 0 %とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚はO d<sub>2</sub>／A d<sub>1</sub>／A d<sub>2</sub>／B d<sub>1</sub>／B d<sub>2</sub>／C d<sub>1</sub>／C d<sub>2</sub> = 110. 73 nm／156. 55 nm／175. 24 nm／169. 45 nm／189. 68 nm／177. 19 nm／198. 35 nmである。全体の膜厚 (d<sub>total</sub> =  $\sum d_i$ ) は1177. 19 nmである。それぞれの膜の屈折率n<sub>i</sub>と膜厚d<sub>i</sub>との積n<sub>i</sub>d<sub>i</sub>の総和 $\sum n_i d_i$ は、2201. 59 nmであり、所定波長980 nmの1／4波長 (= 245 nm) の約8. 99倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0058】

図18は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4 %前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長962 nmから1053 nmにわたって反射率は2. 6 %から5. 0 %の範囲内に収まっている。また、設定波長980 nmの設定反射率3. 0 %を基準として、-1. 0 %から+2. 0 %の範囲、即ち、2. 0 %～5. 0 %の範囲の連続した波長帯域は91 nmである。この波長帯域を設定波長980 nmで割った値は約0. 093であり、仮想単層反射膜の場合の0. 061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0059】

#### 実施の形態12.

本発明の実施の形態12に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図19を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態11に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 913 \text{ nm}$ で設定反射率R( $\lambda$ )を3. 0 %としている点で相違する。また、パラメータはO=1. 15、A=1. 82、B=1. 97、C=2. 06としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0. 893399$ 、 $\phi_2 = 1. 26984$ とすることによって波長953 nmで反射率3. 0 %とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚はO d<sub>2</sub>／A d<sub>1</sub>／A d<sub>2</sub>／B d<sub>1</sub>／B d<sub>2</sub>

$/Cd1/Cd2 = 103.16\text{ nm}/145.85\text{ nm}/163.26\text{ nm}/157.87\text{ nm}/176.72\text{ nm}/165.08\text{ nm}/184.79\text{ nm}$ である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は  $1096.73\text{ nm}$  である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、  $2140.93\text{ nm}$  であり、所定波長  $980\text{ nm}$  の  $1/4$  波長 ( $= 245\text{ nm}$ ) の約  $8.74$  倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0060】

図19は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長  $962\text{ nm}$  から  $1053\text{ nm}$  にわたって反射率は  $2.6\%$  から  $5.0\%$  の範囲内に収まっている。また、設定波長  $953\text{ nm}$  の設定反射率  $3.0\%$  を基準として、 $-1.0\%$  から  $+2.0\%$  の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$  の範囲の連続した波長帯域は  $89\text{ nm}$  である。この波長帯域を設定波長  $953\text{ nm}$  で割った値は約  $0.093$  であり、仮想单層反射膜の場合の  $0.061$  より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0061】

実施の形態13。

本発明の実施の形態13に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図20を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態9に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 980\text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を  $4.0\%$  としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 1.09$ 、  $A = 1.80$ 、  $B = 1.98$ 、  $C = 2.05$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  は、  $\phi_1 = 0.922613$ 、  $\phi_2 = 1.26872$  とすることによって波長  $980\text{ nm}$  で反射率  $4.0\%$  とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は  $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / Cd1 / Cd2 = 104.86\text{ nm} / 159.89\text{ nm} / 173.16\text{ nm} / 1$

75.88 nm / 190.48 nm / 182.99 nm / 198.17 nm である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 1185.43 nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 2211.73 nm であり、所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 (= 245 nm) の約 9.03 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制することができる。

### 【0062】

図20は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約 5 % 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は 3.7 % から 6.0 % の範囲内に収まっている。また、波長 980 nm の設定反射率 4.0 % を基準として、-1.0 % から +2.0 % の範囲、即ち、3.0 % ~ 6.0 % の範囲の連続した波長帯域は 190 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0.093 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0063】

実施の形態 14.

本発明の実施の形態 14 に係る 7 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 21 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 13 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 912 \text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を 4.0 % としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 1.09$ 、 $A = 1.80$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.05$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi 1$  及び  $\phi 2$  を、 $\phi 1 = 0.922613$ 、 $\phi 2 = 1.26872$  とすることによって波長 912 nm で反射率 4.0 % とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は  $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 97.58 \text{ nm} / 148.80 \text{ nm} / 161.15 \text{ nm} / 163.68 \text{ nm} / 177.26 \text{ nm} / 170.29 \text{ nm} / 184.42 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 1103.18 nm である。それぞ

れの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 2059.26 nm であり、所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 ( $= 245 \text{ nm}$ ) の約 8.41 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

#### 【0064】

図21は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 891 nm から 1069 nm にわたって反射率は 3.7% から 6.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 912 nm の設定反射率 4.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、3.0% ~ 6.0% の範囲の連続した波長帯域は 178 nm である。この波長帯域を設定波長 912 nm で割った値は約 0.195 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0065】

実施の形態15.

本発明の実施の形態15に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図22を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態9に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 912 \text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を 4.0% としている点で相違する。また、パラメータは  $O = 1.13$ 、 $A = 1.76$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.06$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、 $\phi_1 = 1.0252$ 、 $\phi_2 = 1.18958$  とすることによって波長 980 nm で反射率 5.0% とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は  $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 101.93 \text{ nm} / 173.72 \text{ nm} / 158.75 \text{ nm} / 195.44 \text{ nm} / 178.60 \text{ nm} / 203.33 \text{ nm} / 185.81 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 1103.18 nm である。それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、2213.24

nmであり、所定波長980nmの1/4波長 (=245nm) の約9.03倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0066】

図22は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は4.7%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は190nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.194であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0067】

#### 実施の形態16.

本発明の実施の形態16に係る7層反射膜を備えた半導体光素子について、図23を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態15に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 910\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 1.13$ 、 $A = 1.76$ 、 $B = 1.98$ 、 $C = 2.06$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.0252$ 、 $\phi_2 = 1.18958$ とすることによって波長910nmで反射率5.0%とすることができる。それに伴って、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 94.65\text{ nm} / 161.31\text{ nm} / 147.41\text{ nm} / 181.48\text{ nm} / 165.84\text{ nm} / 188.81\text{ nm} / 172.54\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は1112.04nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、2055.16nmであり、所定波長980nmの1/4波長 (=245nm) の約8.39倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温

度の上昇を抑制できる。

#### 【0068】

図23は、この7層反射膜の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長891nmから1068nmにわたって反射率は4.7%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長910nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は177nmである。この波長帯域を設定波長912nmで割った値は約0.195であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0069】

以下に、実施の形態1から実施の形態16に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表1に示した。表1には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 $\lambda$ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\sum n_i d_i$ 及び所定波長980nmの1/4波長(245nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0～+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

#### 【0070】

## 【表1】

表1

多層反射膜の特性						
実施の形態	多層反射膜の構成	設定波長 $\lambda$ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) との対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta \lambda$	$\Delta \lambda / \lambda$
1	7層膜	980nm 2 %	1.3%	1590.57nm 6.49 倍	242nm	242/980=0.246
2	7層膜	879nm 2 %	1.3%	1426.66nm 5.82 倍	237nm	237/879=0.270
3	7層膜	980nm 3 %	2.5%	1330.83nm 5.43 倍	173nm	173/980=0.177
4	7層膜	1035nm 3 %	2.5%	1405.57nm 5.74 倍	183nm	183/1035=0.177
5	7層膜	980nm 4 %	3.5%	1323.92nm 5.40 倍	178nm	178/980=0.182
6	7層膜	1040nm 4 %	3.5%	1405.95nm 5.73 倍	189nm	189/1040=0.182
7	7層膜	980nm 5 %	4.6%	1391.41nm 5.38 倍	170nm	170/980=0.173
8	7層膜	1035nm 5 %	4.6%	1391.41nm 5.68 倍	170nm	170/1035=0.164
9	7層膜	980nm 2 %	1.5%	2174.63nm 8.88 倍	157nm	157/980=0.160
10	7層膜	908nm 2 %	1.5%	2014.81nm 8.22 倍	145nm	145/908=0.160
11	7層膜	980nm 3 %	2.6%	2201.59nm 8.99 倍	91nm	91/980=0.093
12	7層膜	953nm 3 %	2.6%	2140.93nm 8.74 倍	89nm	89/953=0.093
13	7層膜	980nm 4 %	3.7%	2211.73nm 9.03 倍	190nm	190/980=0.194
14	7層膜	912nm 4 %	3.7%	2059.26nm 8.41 倍	178nm	178/912=0.195
15	7層膜	980nm 5 %	4.7%	2213.24nm 9.03 倍	190nm	190/980=0.194
16	7層膜	910nm 5 %	4.7%	2055.16nm 8.39 倍	177nm	177/910=0.195

## 【0071】

実施の形態 17.

本発明の実施の形態 17 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について図 2

4 及び図25を用いて説明する。図24は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて6層反射膜40を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が6層反射膜40で構成されている点で相違する。この6層反射膜40の反射率が所定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一に設定する条件について検討する。6層反射膜40の場合にも上記7層反射膜と同様に、振幅反射率は下記式(13)で表される。

### 【数16】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (13)$$

### 【0072】

ここで、 $m_{i,j}$  ( $i, j$  は1又は2) は下記式(14)で表される。

### 【数17】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\ \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (14)$$

なお、A, B, Cは、第1層膜31の膜厚Ad1、第2層膜32の膜厚Ad2、第3層膜33の膜厚Bd1、第4層膜34の膜厚Bd2、第5層膜35の膜厚Cd1、第6層膜36の膜厚Cd2とした場合の、それぞれの2層膜(ペア)の寄与率を表すパラメータである。

### 【0073】

以下、半導体光素子の端面部に6層反射膜40を設けた場合について説明する。図24は、端面部に設けた6層反射膜40の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10(等価屈折率 $n_c = 3.37$ )の端面部に順に、酸化タンタルの第1層膜31(屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Ad1)、アル

ミナの第2層膜32（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $A d 2$ ）、酸化タンタルの第3層膜33（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $B d 1$ ）、アルミナの第4層膜34（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $B d 2$ ）、酸化タンタルの第5層膜35（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚 $C d 1$ ）、アルミナの第6層膜36（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚 $C d 2$ ）が積層されている。さらに、この6層反射膜40は、空気等の自由空間5に接している。

#### 【0074】

この半導体光素子の端面部の6層反射膜40の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $A = 2.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.792828$ 、 $\phi_2 = 0.715471$ である場合に反射率2%が得られる。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $A d 1 / A d 2 / B d 1 / B d 2 / C d 1 / C d 2 = 120.23\text{ nm} / 137.77\text{ nm} / 120.23\text{ nm} / 137.77\text{ nm} / 120.23\text{ nm} / 137.77\text{ nm}$ である。全体の膜厚（ $d_{total} = \sum d_i$ ）は774.0 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1411.50 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長（=245 nm）の約5.76倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

#### 【0075】

図25は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長877 nmから1017 nmにわたって反射率は極小値の1.4%から4.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980 nmの反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域は140 nmである。この波長帯域を所定波長980 nmで割った値は約0.143であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有しているこ

とがわかる。

### 【0076】

#### 実施の形態18.

本発明の実施の形態18に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図26を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態17に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1014\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 2.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.792828$ 、 $\phi_2 = 0.715471$ とすることによって波長 $1014\text{ nm}$ で反射率2.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 124.40\text{ nm}/142.55\text{ nm}/124.40\text{ nm}/142.55\text{ nm}/124.40\text{ nm}/142.55\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $800.85\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1460.47\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約5.96倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0077】

図26は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 $907\text{ nm}$ から $1053\text{ nm}$ にわたって反射率は1.4%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 $1014\text{ nm}$ の設定反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%~4.0%の範囲の連続した波長帯域は $146\text{ nm}$ である。この波長帯域を設定波長 $1014\text{ nm}$ で割った値は約0.144であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0078】

## 実施の形態 19.

本発明の実施の形態 19 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図 27 を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態 17 に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 980 \text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を 3.0% としている点で相違する。また、パラメータは  $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、 $\phi_1 = 0.948585$ 、 $\phi_2 = 0.476939$  とすることによって波長  $980 \text{ nm}$  で反射率 3.0% とすることができます。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は  $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 139.54 \text{ nm}/89.08 \text{ nm}/136.66 \text{ nm}/87.25 \text{ nm}/158.24 \text{ nm}/101.02 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は  $711.79 \text{ nm}$  である。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 $1342.95 \text{ nm}$  であり、所定波長  $980 \text{ nm}$  の  $1/4$  波長 ( $= 245 \text{ nm}$ ) の約 5.48 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0079】

図 26 は、この 6 層反射膜 40 の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この 6 層反射膜は、目標反射率の約 4% 前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長  $806 \text{ nm}$  から  $1009 \text{ nm}$  にわたって反射率は 2.3% から 5.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長  $980 \text{ nm}$  の設定反射率 3.0% を基準として、 $-1.0\%$  から  $+2.0\%$  の範囲、即ち、 $2.0\% \sim 5.0\%$  の範囲の連続した波長帯域は  $203 \text{ nm}$  である。この波長帯域を設定波長  $980 \text{ nm}$  で割った値は約 0.207 であり、仮想単層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この 6 層反射膜 40 は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

## 【0080】

## 実施の形態 20.

本発明の実施の形態 20 に係る 6 層反射膜を備えた半導体光素子について、図

28を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態19に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1052\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.948585$ 、 $\phi_2 = 0.476939$ とすることによって波長 $1052\text{ nm}$ で反射率3.0%とすることができる。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 150.64\text{ nm}/96.17\text{ nm}/147.54\text{ nm}/94.19\text{ nm}/170.83\text{ nm}/109.06\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $768.43\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1449.81\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約5.92倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0081】

図28は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、反射率は2.3%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 $1052\text{ nm}$ の設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は $218\text{ nm}$ である。この波長帯域を設定波長 $1052\text{ nm}$ で割った値は約0.207であり、仮想单層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0082】

#### 実施の形態21.

本発明の実施の形態21に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図29を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態17に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2$

. 2としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.98561$ 、 $\phi_2 = 0.417545$ とすることによつて波長980 nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 144$   
 $.98\text{ nm}/77.99\text{ nm}/141.99\text{ nm}/76.38\text{ nm}/164.4$   
 $1\text{ nm}/188.44\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は794.19 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1483.84 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長(=245 nm)の約6.06倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0083】

図29は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長791 nmから1020 nmにわたって反射率は3.3%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980 nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は229 nmである。この波長帯域を設定波長980 nmで割った値は約0.234であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0084】

#### 実施の形態22.

本発明の実施の形態22に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図30を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態21に係る半導体光素子と比較すると、設定波長 $\lambda = 1075\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.94$ 、 $B = 1.90$ 、 $C = 2.2$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.98561$ 、 $\phi_2 = 0.417545$ とすることによ

って波長 1075 nm で反射率 4.0% とすることができます。この場合、6 層反射膜のそれぞれの膜厚は  $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 159.04 \text{ nm}/85.55 \text{ nm}/155.76 \text{ nm}/83.79 \text{ nm}/180.35 \text{ nm}/97.02 \text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 761.51 nm である。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、1450.03 nm であり、所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 ( $= 245 \text{ nm}$ ) の約 5.92 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0085】

図30は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 854 nm から 1105 nm にわたって反射率は 3.3% から 6.0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 1075 nm の設定反射率 4.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、3.0% ~ 6.0% の範囲の連続した波長帯域は 251 nm である。この波長帯域を設定波長 1075 nm で割った値は約 0.233 であり、仮想单層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0086】

#### 実施の形態23.

本発明の実施の形態23に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図31を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態17に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 980 \text{ nm}$  で設定反射率  $R(\lambda)$  を 5.0% としている点で相違する。また、パラメータは  $A = 2.04$ 、 $B = 1.92$ 、 $C = 2.2$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、 $\phi_1 = 0.93793$ 、 $\phi_2 = 0.433879$  とすることによって波長 980 nm で反射率 5.0% とすることができます。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は  $A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2} = 114$

5. 08 nm / 85. 22 nm / 136. 55 nm / 80. 21 nm / 156. 46 nm / 91. 90 nm である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 695. 42 nm である。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 1318. 03 nm であり、所定波長 980 nm の 1 / 4 波長 (= 245 nm) の約 5. 38 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0087】

図31は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 787 nm から 1009 nm にわたって反射率は 4. 6% から 7. 0% の範囲内に収まっている。また、設定波長 980 nm の設定反射率 5. 0% を基準として、-1. 0% から +2. 0% の範囲、即ち、4. 0% ~ 7. 0% の範囲の連続した波長帯域は 222 nm である。この波長帯域を設定波長 980 nm で割った値は約 0. 227 であり、仮想单層反射膜の場合の 0. 061 より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0088】

#### 実施の形態24.

本発明の実施の形態24に係る6層反射膜を備えた半導体光素子について、図32を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態23に係る半導体光素子と比較すると、設定波長  $\lambda = 1069$  nm で設定反射率  $R(\lambda)$  を 5. 0% としている点で相違する。また、パラメータは  $A = 2. 04$ 、  $B = 1. 92$ 、  $C = 2. 2$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、  $\phi_1 = 0. 93793$ 、  $\phi_2 = 0. 433879$  とすることによって波長 1069 nm で反射率 5. 0% とすることができます。この場合、6層反射膜のそれぞれの膜厚は  $A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 = 158. 26$  nm / 92. 96 nm / 148. 95 nm / 87. 49 nm / 170. 67 nm / 100. 25 nm である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は

758. 58 nmである。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\Sigma n_i d_i$  は、1437. 73 nmであり、所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 (= 245 nm) の約 5. 87 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0089】

図32は、この6層反射膜40の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この6層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 858 nmから 1101 nmにわたって反射率は4. 6%から7. 0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 1069 nmの設定反射率 5. 0%を基準として、-1. 0%から+2. 0%の範囲、即ち、4. 0%～7. 0%の範囲の連続した波長帯域は 243 nmである。この波長帯域を設定波長 1069 nmで割った値は約 0. 227 であり、仮想单層反射膜の場合の 0. 061 より大きい。そこで、この6層反射膜40は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0090】

以下に、実施の形態17から実施の形態24に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表2に示した。表2には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長  $\lambda$  及び設定反射率  $R(\lambda)$  、極小反射率、 $\Sigma n_i d_i$  及び所定波長 980 nm の  $1/4$  波長 (245 nm) との対比、 $R(\lambda)$  の-1. 0～+2. 0%の範囲となる波長帯域  $\Delta\lambda$  、 $\Delta\lambda/\lambda$  について示した。

### 【0091】

## 【表2】

表2

多層反射膜の特性						
実施の形態	多層反射膜の構成	設定波長 $\lambda$ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) との対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
17	6層膜	980nm 2%	1.4%	1411.50nm 5.76倍	140nm	140/980=0.143
18	6層膜	1014nm 2%	1.4%	1460.47nm 5.96倍	146nm	146/1014=0.144
19	6層膜	980nm 3%	2.3%	1342.95nm 5.48倍	203nm	203/980=0.207
20	6層膜	1014nm 3%	2.3%	1449.81nm 5.92倍	218nm	218/1014=0.207
21	6層膜	980nm 4%	3.8%	1483.84nm 6.06倍	229nm	229/980=0.234
22	6層膜	1075nm 4%	3.8%	1450.03nm 5.92倍	251nm	251/1075=0.233
23	6層膜	980nm 5%	4.6%	1318.03nm 5.38倍	222nm	222/980=0.227
24	6層膜	1069nm 5%	4.6%	1437.73nm 5.87倍	243nm	243/1069=0.164

## 【0092】

## 実施の形態25.

本発明の実施の形態25に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について図33及び図34を用いて説明する。図33は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて3種類の膜からなる7層反射膜50を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が3種類の膜からなる7層反射膜50で構成されている点で相違する。さらに詳細には、導波層10に接する第1層膜が窒化アルミニウム膜41である点で相違する。なお、第2層膜から第7層膜にかけては酸化タンタル及びアルミナが交互に積層されている点で共通する。

## 【0093】

この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率が所定波長で上記仮想単層膜の反射率と同一に設定する条件について検討する。ここでは、導波層10に接する第1層膜に第3の種類の膜を用いた場合について検討する。この第3の膜の位相変化 $\phi_3$ は、下記式(15)で表される。

【数18】

$$\phi_3 = \frac{2\pi}{\lambda} n_3 d_3 \quad (15)$$

【0094】

そこで、この3種類の膜からなる7層反射膜50の振幅反射率は、上記7層反射膜、6層反射膜と同様に下記式(16)で表される。

【数19】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (16)$$

【0095】

ここで、 $m_{ij}$  ( $i, j$  は1又は2) は下記式(17)で表される。

【数20】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi_3 & -\frac{i}{n_3} \sin \phi_3 \\ -in_3 \sin \phi_3 & \cos \phi_3 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \quad (17)$$

なお、A, B, Cは、第2層膜42の膜厚A d 1、第3層膜43の膜厚A d 2、第4層膜44の膜厚B d 1、第5層膜45の膜厚B d 2、第6層膜46の膜厚C d 1、第7層膜47の膜厚C d 2とした場合の、それぞれの2層膜(ペア)の寄与率を表すパラメータである。

## 【0096】

以下、半導体光素子の端面部に3種類の膜を含む7層反射膜50を設けた場合について説明する。図33は、端面部に設けた3種類の膜を含む7層反射膜の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層10（等価屈折率n<sub>c</sub>=3.37）の端面部に順に、窒化アルミニウム（AlN）の第1層膜41（屈折率n<sub>3</sub>=2.072、膜厚d<sub>3</sub>=50nm）、酸化タンタルの第2層膜42（屈折率n<sub>1</sub>=2.057、膜厚A d 1）、アルミナの第3層膜43（屈折率n<sub>2</sub>=1.62、膜厚A d 2）、酸化タンタルの第4層膜44（屈折率n<sub>1</sub>=2.057、膜厚B d 1）、アルミナの第5層膜45（屈折率n<sub>2</sub>=1.62、膜厚B d 2）、酸化タンタルの第6層膜46（屈折率n<sub>1</sub>=2.057、膜厚C d 1）、アルミナの第7層膜47（屈折率n<sub>2</sub>=1.62、膜厚C d 2）が積層されている。さらに、この7層反射膜50は、空気等の自由空間5に接している。

## 【0097】

まず、窒化アルミニウム、酸化タンタル、アルミナの3種類の膜を含む7層反射膜の熱特性について説明する。この3種類の膜の熱伝導率は、順に、約1.8W/（cm·K）、約0.1W/（cm·K）、約0.2W/（cm·K）なので、窒化アルミニウムが最も熱伝導率が高い。このため導波層10の熱を迅速に外部に放熱させることができる。

## 【0098】

次に、この半導体光素子の端面部の3種類の膜を含む7層反射膜50の反射特性について説明する。まず、設定波長λ=980nmで設定反射率R(λ)を2.0%とする。各パラメータを、A=1.0、B=2.0、C=2.0とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化φ<sub>1</sub>及びφ<sub>2</sub>が、それぞれφ<sub>1</sub>=1.23574、φ<sub>2</sub>=0.727856である場合に波長980nmで反射率2%が得られる。なお、窒化アルミニウムの第1層膜41の厚みd<sub>3</sub>は予め50nmとして、φ<sub>3</sub>は既知の定数として用い、変数にはφ<sub>1</sub>及びφ<sub>2</sub>のみを用いた。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、d<sub>3</sub>/A d 1/A d 2/B d 1/B d 2/C d 1/C d 2=50nm/93.7nm/70.08nm/187.40nm/140.15nm/187.40nm/140.15nmである。全体の

膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 868.88 nm である。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 1634.92 nm であり、  $\lambda/4$  (= 245 nm) の約 6.67 倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0099】

図34は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 952 nm から 1194 nm にわたって反射率は極小値の 1.6% から 4.0% の範囲内に収まっている。また、所定波長 980 nm の反射率 2.0% を基準として、-1.0% から +2.0% の範囲、即ち、1.0% ~ 4.0% の範囲の連続した波長帯域は 242 nm である。この波長帯域を所定波長 980 nm で割った値は約 0.247 であり、仮想单層反射膜の場合の 0.061 より大きい。そこで、この7層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0100】

#### 実施の形態26.

本発明の実施の形態26に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図35を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長  $\lambda = 897$  nm で設定反射率  $R(\lambda)$  を 2.0% としている点で相違する。また、パラメータは  $A = 1.0$ 、  $B = 2.0$ 、  $C = 2.0$  としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化  $\phi_1$  及び  $\phi_2$  を、  $\phi_1 = 1.23574$ 、  $\phi_2 = 0.727856$  とすることによって波長 897 nm で反射率 2.0% とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、  $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/83.26\text{ nm}/65.10\text{ nm}/166.52\text{ nm}/130.20\text{ nm}/166.52\text{ nm}/130.20\text{ nm}$  である。全体の膜厚 ( $d_{total} = \sum d_i$ ) は 791.8 nm である。また、それぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、 1487.24 nm

mであり、所定波長980 nmの1/4波長 (=245 nm) の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0101】

図35は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長872 nmから1086 nmにわたって反射率は1.5%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長897 nmの設定反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%~4.0%の範囲の連続した波長帯域は214 nmである。この波長帯域を設定波長897 nmで割った値は約0.239であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0102】

#### 実施の形態27.

本発明の実施の形態27に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図36を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980$  nmで設定反射率R( $\lambda$ )を3.0%としている点で相違する。また、パラメータはA=1.0、B=2.0、C=2.0としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.20275$ 、 $\phi_2 = 0.765599$ とすることによって波長980 nmで反射率3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/91.20\text{ nm}/73.71\text{ nm}/182.40\text{ nm}/147.42\text{ nm}/182.40\text{ nm}/147.42\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は874.55 nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1638.64 nmであり、所定波長980 nmの1/4波長 (=245 nm) の約6.69倍

と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0103】

図36は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長953nmから1195nmにわたって反射率は2.6%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は242nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.247であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0104】

#### 実施の形態28.

本発明の実施の形態28に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図37を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態27と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 896\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.23574$ 、 $\phi_2 = 0.727856$ とすることによって波長896nmで反射率3.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/81.08\text{ nm}/68.15\text{ nm}/162.16\text{ nm}/136.31\text{ nm}/162.16\text{ nm}/136.31\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は796.17nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1489.56nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.08倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を

抑制できる。

### 【0105】

図37は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長872nmから1089nmにわたって反射率は2.5%から5.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長896nmの設定反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は217nmである。この波長帯域を設定波長896nmで割った値は約0.242であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0106】

#### 実施の形態29.

本発明の実施の形態29に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図38を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.17459$ 、 $\phi_2 = 0.798874$ とすることによって波長980nmで反射率4.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/89.06\text{ nm}/76.91\text{ nm}/178.13\text{ nm}/153.83\text{ nm}/178.13\text{ nm}/153.83\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は879.89nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1642.63nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.70倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0107】

図38は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長953nmから1198nmにわたって反射率は3.6%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は245nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.250であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

## 【0108】

実施の形態30.

本発明の実施の形態30に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図39を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態29に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 893\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.14262$ 、 $\phi_2 = 0.805876$ とすることによって波長893nmで反射率4.0%とすることができます。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/78.95\text{ nm}/70.70\text{ nm}/157.90\text{ nm}/141.40\text{ nm}/157.90\text{ nm}/141.40\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は798.25nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1488.27nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

## 【0109】

図39は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長870nmから1090nmにわたって反射率は3.4%から6.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長893nmの設定反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は220nmである。この波長帯域を設定波長893nmで割った値は約0.246であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0110】

#### 実施の形態31.

本発明の実施の形態31に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図40を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態25と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率R( $\lambda$ )を5.0%としている点で相違する。また、パラメータはA=1.0、B=2.0、C=2.0としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.14888$ 、 $\phi_2 = 0.829916$ とすることによって波長980nmで反射率5.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/87.11\text{ nm}/79.90\text{ nm}/174.23\text{ nm}/159.81\text{ nm}/174.23\text{ nm}/159.81\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は885.09nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1646.79nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.72倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0111】

図40は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示す

グラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長952nmから1201nmにわたって反射率は4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長980nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は249nmである。この波長帯域を設定波長980nmで割った値は約0.254であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0112】

実施の形態32.

本発明の実施の形態32に係る3種類の膜を含む7層反射膜を備えた半導体光素子について、図41を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態31と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 890\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、パラメータは $A = 1.0$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 1.11792$ 、 $\phi_2 = 0.835299$ とすることによって波長890nmで反射率5.0%とすることができる。この場合、7層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $d_3/A d_1/A d_2/B d_1/B d_2/C d_1/C d_2 = 50/76.98\text{ nm}/73.04\text{ nm}/153.96\text{ nm}/146.07\text{ nm}/153.96\text{ nm}/146.07\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は800.08nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1486.93nmであり、所定波長980nmの1/4波長(=245nm)の約6.07倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0113】

図41は、この3種類の膜を含む7層反射膜50の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この7層反射

膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長867nmから1093nmにわたって反射率は4.4%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長890nmの設定反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は226nmである。この波長帯域を設定波長890nmで割った値は約0.254であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで、この7層反射膜50は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

#### 【0114】

以下に、実施の形態25から実施の形態32に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表3に示した。表3には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 $\lambda$ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\sum n_i d_i$ 及び所定波長980nmの1/4波長(245nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0～+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

#### 【0115】

【表3】

表3

実施の形態	多層反射膜の特性					
	多層反射膜の構成	設定波長 $\lambda$	設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長 980nm の 1/4 波長 (245nm) との対比	$R(\lambda)$ の -1.0~2.0% となる波長 帯域 $\Delta \lambda$
25	7層膜 (3種類)	980nm 2 %	1.6%	1634.92nm 6.67倍	242nm	242/980=0.247
26	7層膜 (3種類)	897nm 2 %	1.5%	1487.24nm 6.07倍	214nm	214/897=0.239
27	7層膜 (3種類)	980nm 3 %	2.6%	1638.64nm 6.69倍	242nm	242/980=0.247
28	7層膜 (3種類)	896nm 3 %	2.5%	1489.56nm 6.08倍	217nm	217/896=0.242
29	7層膜 (3種類)	980nm 4 %	3.6%	1642.63nm 6.70倍	245nm	245/980=0.250
30	7層膜 (3種類)	893nm 4 %	3.4%	1488.27nm 6.07倍	220nm	220/893=0.246
31	7層膜 (3種類)	980nm 5 %	4.6%	1646.79nm 6.72倍	249nm	249/980=0.254
32	7層膜 (3種類)	890nm 5 %	4.4%	1486.93nm 6.07倍	226nm	226/890=0.254

## 【0116】

## 実施の形態33.

本発明の実施の形態33に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について図42及び43を用いて説明する。図42は、半導体光素子の端面部の反射膜として、単層反射膜に代えて9層反射膜60を設けた場合の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子は、実施の形態1に係る半導体光素子と比較すると、多層反射膜が9層反射膜60で構成されている点で相違する。この9層反射膜60の反射率が所定波長で前記仮想単層膜の反射率と同一にする条件について検討する。9層反射膜60の振幅反射率は、上記4層反射膜及び7層反射膜と同様に下記式(18)で表される。

## 【数21】

$$r = \frac{(m_{11} + m_{12})n_c - (m_{21} + m_{22})}{(m_{11} + m_{12})n_c + (m_{21} + m_{22})} \quad (18)$$

## 【0117】

ここで、 $m_{ij}$  ( $i, j$  は 1 又は 2) は下記式 (19) で表される。

## 【数22】

$$\begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} \\ m_{21} & m_{22} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos O\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin O\phi_2 \\ -in_2 \sin O\phi_2 & \cos O\phi_2 \end{pmatrix} \\
 \times \begin{pmatrix} \cos A\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin A\phi_1 \\ -in_1 \sin A\phi_1 & \cos A\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos A\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin A\phi_2 \\ -in_2 \sin A\phi_2 & \cos A\phi_2 \end{pmatrix} \\
 \times \begin{pmatrix} \cos B\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin B\phi_1 \\ -in_1 \sin B\phi_1 & \cos B\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos B\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin B\phi_2 \\ -in_2 \sin B\phi_2 & \cos B\phi_2 \end{pmatrix} \\
 \times \begin{pmatrix} \cos C\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin C\phi_1 \\ -in_1 \sin C\phi_1 & \cos C\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos C\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin C\phi_2 \\ -in_2 \sin C\phi_2 & \cos C\phi_2 \end{pmatrix} \\
 \times \begin{pmatrix} \cos D\phi_1 & -\frac{i}{n_1} \sin D\phi_1 \\ -in_1 \sin D\phi_1 & \cos D\phi_1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos D\phi_2 & -\frac{i}{n_2} \sin D\phi_2 \\ -in_2 \sin D\phi_2 & \cos D\phi_2 \end{pmatrix} \quad (19)$$

なお、O, A, B, C, D は、第1層膜 5 1 の膜厚 O d 2、第2層膜 5 2 の膜厚 A d 1、第3層膜 6 3 の膜厚 A d 2、第4層膜 5 4 の膜厚 B d 1、第5層膜 5 5 の膜厚 B d 2、第6層膜 5 6 の膜厚 C d 1、第7層膜 5 7 の膜厚 C d 2、第8層膜 5 8 の膜厚 D d 1、第9層膜 5 9 の膜厚 D d 2 において、第1層膜 3 1 を除き、それぞれの2層膜（ペア）の寄与率を表すパラメータである。

## 【0118】

以下、半導体光素子の端面部に9層反射膜 6 0 を設けた場合について説明する。図42は、端面部に設けた9層反射膜の構成を示す概略断面図である。この半導体光素子では、導波層 1 0（等価屈折率  $n_c = 3.37$ ）の端面部に順に、アルミナの第1層膜 5 1（屈折率  $n_2 = 1.62$ 、膜厚 O d 2）、酸化タンタルの第2層膜 5 2（屈折率  $n_1 = 2.057$ 、膜厚 A d 1）、アルミナの第3層膜 5 3（屈折率  $n_2 = 1.62$ 、膜厚 A d 2）、酸化タンタルの第4層膜 5 4（屈折率  $n_1 = 2.057$ 、膜厚 B d 1）、アルミナの第5層膜 5 5（屈折率  $n_2 = 1.62$ 、膜厚 B d 2）、酸化タンタルの第6層膜 5 6（屈折率  $n_1 = 2.057$ 、膜厚 C d 1）、アルミナの第7層膜 5 7（屈折率  $n_2 = 1.62$ 、膜厚 C d 2

) 、酸化タンタルの第6層膜56（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Cd1）、アルミナの第7層膜57（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Cd2）、酸化タンタルの第8層膜58（屈折率 $n_1 = 2.057$ 、膜厚Cd1）、アルミナの第9層膜59（屈折率 $n_2 = 1.62$ 、膜厚Cd2）が積層されている。さらに、この9層反射膜60は、空気等の自由空間5に接している。

### 【0119】

この半導体光素子の端面部の9層反射膜60の反射特性について説明する。まず、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2%とする。各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.35769$ 、 $\phi_2 = 0.958077$ である場合に波長980nmで反射率2%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O_{d2}/A_{d1}/A_{d2}/B_{d1}/B_{d2}/C_{d1}/C_{d2}/D_{d1}/D_{d2} = 18.45\text{ nm}/73.23\text{ nm}/249.06\text{ nm}/54.24\text{ nm}/184.49\text{ nm}/54.24\text{ nm}/184.49\text{ nm}/54.24\text{ nm}/184.49\text{ nm}$ である。全体の膜厚（ $d_{total} = \sum d_i$ ）は1056.93nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1815.34nmであり、所定波長980nmの1/4波長（=245nm）の約7.41倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0120】

図43は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長877nmから1007nmにわたって反射率は極小値の1.6%から4.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980nmの反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域は130nmである。この波長帯域を所定波長980nmで割った値は約0.133であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで

、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0121】

#### 実施の形態34.

本発明の実施の形態34に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図44を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態33と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1020\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を2.0%としている点で相違する。また、パラメータは $O = 0.2$ ,  $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ としている。さらに、アルミナ及び酸化タンタルのそれぞれの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ を、 $\phi_1 = 0.35769$ 、 $\phi_2 = 0.958077$ とすることによって波長 $1020\text{ nm}$ で反射率2.0%とすることができる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 19.20\text{ nm} / 76.22\text{ nm} / 259.22\text{ nm} / 56.46\text{ nm} / 192.02\text{ nm} / 56.46\text{ nm} / 192.02\text{ nm} / 56.46\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $1100.08\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1889.46\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.71倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0122】

図44は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の約3%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 $912\text{ nm}$ から $1048\text{ nm}$ にわたって反射率は1.6%から4.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 $1020\text{ nm}$ の設定反射率2.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、1.0%～4.0%の範囲の連続した波長帯域は $136\text{ nm}$ である。この波長帯域を設定波長 $1020\text{ nm}$ で割った値は約0.133であり、仮想单層反射膜の場合の0.061より大きい。そこ

で、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0123】

実施の形態35.

本発明の実施の形態35に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図45を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態33に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.2$ 、 $A = 2.7$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.377348$ 、 $\phi_2 = 0.935416$ である場合に波長980nmで反射率3%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 18.01\text{ nm} / 77.25\text{ nm} / 243.16\text{ nm} / 57.22\text{ nm} / 180.12\text{ nm} / 57.22\text{ nm} / 180.12\text{ nm} / 57.22\text{ nm} / 180.12\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は1050.44nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1810.49nmであり、所定波長980nmの1/4波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.49倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0124】

図45は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長882nmから1007nmにわたって反射率は極小値の2.6%から5.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980nmの反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は125nmである。この波長帯域を所定波長980nmで割った値は約0.128であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで

、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0125】

#### 実施の形態36.

本発明の実施の形態36に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図46を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態35に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1017\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を3.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O=0.2$ 、 $A=2.7$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ 、 $D=2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1=0.377348$ 、 $\phi_2=0.935416$ である場合に波長 $1017\text{ nm}$ で反射率3%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O_d2/A_d1/A_d2/B_d1/B_d2/C_d1/C_d2/D_d1/D_d2=18.69\text{ nm}/80.17\text{ nm}/252.35\text{ nm}/59.39\text{ nm}/186.92\text{ nm}/59.39\text{ nm}/186.92\text{ nm}/59.39\text{ nm}/186.92\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total}=\sum d_i$ )は $1090.14\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1878.92\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $=245\text{ nm}$ )の約7.67倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0126】

図46は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の4%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 $915\text{ nm}$ から $1045\text{ nm}$ にわたって反射率は極小値の2.6%から5.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長 $1017\text{ nm}$ の反射率3.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、2.0%～5.0%の範囲の連続した波長帯域は $130\text{ nm}$ である。この波長帯域を所定波長 $1017\text{ nm}$ で割った値は約0.128であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そ

こで、この9層反射膜60は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0127】

#### 実施の形態37.

本発明の実施の形態37に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図47を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態33に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.15$ 、 $A = 2.8$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.38725$ 、 $\phi_2 = 0.911369$ である場合に波長980nmで反射率4%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 13.16\text{ nm} / 82.22\text{ nm} / 245.69\text{ nm} / 58.73\text{ nm} / 175.49\text{ nm} / 58.73\text{ nm} / 175.49\text{ nm} / 58.73\text{ nm} / 175.49\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は1043.73nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1803.77nmであり、所定波長980nmの1/4波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.36倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0128】

図47は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長883nmから1006nmにわたって反射率は極小値の3.6%から6.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980nmの反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は123nmである。この波長帯域を所定波長980nmで割った値は約0.126であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこで

、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0129】

実施の形態38.

本発明の実施の形態38に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図48を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態37に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1017\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を4.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O=0.15$ 、 $A=2.8$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ 、 $D=2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.38725$ 、 $\phi_2 = 0.911369$ である場合に波長 $1017\text{ nm}$ で反射率4%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 13.66\text{ nm} / 85.32\text{ nm} / 245.96\text{ nm} / 60.94\text{ nm} / 182.12\text{ nm} / 60.94\text{ nm} / 182.12\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $1083.12\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1871.83\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.64倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0130】

図48は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の5%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 $916\text{ nm}$ から $1044\text{ nm}$ にわたって反射率は極小値の3.6%から6.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長 $1017\text{ nm}$ の反射率4.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、3.0%～6.0%の範囲の連続した波長帯域は $128\text{ nm}$ である。この波長帯域を所定波長 $1017\text{ nm}$ で割った値は約0.126であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そ

ここで、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0131】

#### 実施の形態39.

本発明の実施の形態39に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図49を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態33に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 980\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O = 0.10$ 、 $A = 2.9$ 、 $B = 2.0$ 、 $C = 2.0$ 、 $D = 2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.397519$ 、 $\phi_2 = 0.886992$ である場合に波長980nmで反射率5%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 8.54\text{ nm} / 87.41\text{ nm} / 247.66\text{ nm} / 60.28\text{ nm} / 170.80\text{ nm} / 60.28\text{ nm} / 170.80\text{ nm} / 60.28\text{ nm} / 170.80\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は1036.85nmである。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、1801.04nmであり、所定波長980nmの1/4波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.35倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0132】

図49は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の約6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長890nmから1006nmにわたって反射率は極小値の4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、所定波長980nmの反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域は116nmである。この波長帯域を所定波長980nmで割った値は約0.118であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大きい。そこ

で、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0133】

実施の形態40.

本発明の実施の形態40に係る9層反射膜を備えた半導体光素子について、図50を用いて説明する。この半導体光素子は、実施の形態39に係る半導体光素子と比較すると、その構成において共通するが、設定波長 $\lambda = 1013\text{ nm}$ で設定反射率 $R(\lambda)$ を5.0%としている点で相違する。また、各パラメータを、 $O=0.10$ 、 $A=2.9$ 、 $B=2.0$ 、 $C=2.0$ 、 $D=2.0$ とした場合、酸化タンタル及びアルミナの位相変化 $\phi_1$ 及び $\phi_2$ が、それぞれ $\phi_1 = 0.397519$ 、 $\phi_2 = 0.886992$ である場合に波長 $1013\text{ nm}$ で反射率5%が得られる。この場合、9層反射膜のそれぞれの膜厚は、 $O d_2 / A d_1 / A d_2 / B d_1 / B d_2 / C d_1 / C d_2 / D d_1 / D d_2 = 8.83\text{ nm} / 90.35\text{ nm} / 256.00\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm} / 62.31\text{ nm} / 176.55\text{ nm}$ である。全体の膜厚( $d_{total} = \sum d_i$ )は $1071.76\text{ nm}$ である。また、それぞれの膜の屈折率 $n_i$ と膜厚 $d_i$ との積 $n_i d_i$ の総和 $\sum n_i d_i$ は、 $1857.42\text{ nm}$ であり、所定波長 $980\text{ nm}$ の $1/4$ 波長( $= 245\text{ nm}$ )の約7.58倍と非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。

### 【0134】

図50は、この9層反射膜60の反射率の波長依存性を示すグラフである。グラフの横軸は波長であり、縦軸は反射率である。この9層反射膜は、目標反射率の6%前後の平坦部分が広い波長帯域にわたって得られている。即ち、波長 $920\text{ nm}$ から $1040\text{ nm}$ にわたって反射率は極小値の4.6%から7.0%の範囲内に収まっている。また、設定波長 $1013\text{ nm}$ の反射率5.0%を基準として、-1.0%から+2.0%の範囲、即ち、4.0%～7.0%の範囲の連続した波長帯域 $\Delta\lambda$ は $120\text{ nm}$ である。この波長帯域を設定波長 $\lambda = 1013\text{ nm}$ で割った値は約0.118であり、仮想単層反射膜の場合の0.061より大

きい。そこで、この9層反射膜は、広い波長帯域にわたって低反射率の平坦部を有していることがわかる。

### 【0135】

以下に、実施の形態33から実施の形態40に係る半導体光素子の多層反射膜の特性について、表4に示した。表4には、多層反射膜の特性として、多層反射膜の構成、設定波長 $\lambda$ 及び設定反射率 $R(\lambda)$ 、極小反射率、 $\sum n_i d_i$ 及び所定波長980nmの1/4波長(245nm)との対比、 $R(\lambda)$ の-1.0～+2.0%の範囲となる波長帯域 $\Delta\lambda$ 、 $\Delta\lambda/\lambda$ について示した。

### 【0136】

【表4】

表4

実施の形態	多層反射膜の特性					
	多層反射膜の構成	設定波長 $\lambda$ 設定反射率 $R(\lambda)$	極小反射率	$\sum n_i d_i$ 、 波長980nm の1/4波長 (245nm)との 対比	$R(\lambda)$ の -1.0～2.0% となる波長 帯域 $\Delta\lambda$	$\Delta\lambda/\lambda$
33	9層膜	980nm 2%	1.4%	1815.34nm 7.41倍	130nm	130/980=0.133
34	9層膜	1020nm 2%	1.4%	1889.46nm 7.71倍	136nm	136/1020=0.133
35	9層膜	980nm 3%	2.6%	1810.49nm 7.49倍	125nm	125/980=0.128
36	9層膜	1017nm 3%	2.6%	1878.92nm 7.67倍	130nm	130/1017=0.128
37	9層膜	980nm 4%	3.6%	1803.77nm 7.36倍	123nm	123/980=0.126
38	9層膜	1017nm 4%	3.6%	1871.83nm 7.64倍	128nm	128/1017=0.126
39	9層膜	980nm 5%	4.6%	1801.04nm 7.35倍	116nm	116/980=0.118
40	9層膜	1013nm 5%	4.6%	1857.42nm 7.58倍	120nm	120/1013=0.118

### 【0137】

以上、本発明を説明する実施の形態において、7層反射膜、6層反射膜及び9層反射膜をその一例として挙げて説明したが、本発明はこれらに限定されるもの

ではない。多層反射膜はこれ以外の複数層であってもよい。3種類の材料を用いる場合を示したが、4種類以上の材料の場合も予め位相条件を与えることで同様に取り扱える。また、一対のアルミナ及び酸化タンタルの2層膜の寄与を示すO, A, B, C, D等のパラメータの値は上記実施の形態に示した値に限定されるものではない。さらに、半導体光素子として半導体レーザ素子の場合を例に挙げたが、これに限られず、本発明は半導体光増幅器、スーパールミネセント・ダイオード、光変調器、光スイッチ等の光デバイスにも適用することができる。また、波長として980 nm近傍に限定されるものではなく、可視光領域、遠赤外領域、赤外領域においても適用できる。さらに、反射率として約2～7%の低反射率の場合について説明したが、極小反射率が1～32%の範囲内であれば適用できる。なお、反射率が32%の場合とは、端面部に反射膜のコーティングをしない場合のおよその反射率である。

### 【0138】

#### 【発明の効果】

本発明に係る半導体光素子によれば、多層反射膜のそれぞれの膜の屈折率  $n_i$  と膜厚  $d_i$  との積  $n_i d_i$  の総和  $\sum n_i d_i$  は、導波層を導波する光の所定波長、例えば980 nmの1/4波長より大きい。さらに、この多層反射膜の  $\sum n_i d_i$  は、導波光のおよそ5/4波長よりも大きく、非常に厚い。このため、端面における放熱特性が良くなり、端面温度の上昇を抑制できる。また、多層反射膜は、波長の関数である反射率の極小値から該極小値+2%の範囲内となる連続する波長帯域幅  $\Delta \lambda$  を、上記波長  $\lambda$  で割った値  $\Delta \lambda / \lambda$  が0.062以上である。これにより、非常に厚い膜であるにもかかわらず、低反射率の波長帯域  $\Delta \lambda$  が広くなる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】 複素数表示による振幅反射率を示す複素平面図である。

【図2】 端面に仮想单層反射膜を有する半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図3】 図2の仮想单層反射膜を2層膜で置き換えた場合の本発明に係る半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図 4】 図 2 の仮想単層反射膜を 4 層膜で置き換えた場合の本発明に係る半導体光素子の構造を示す概略断面図である。

【図 5】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 6】 本発明の実施の形態 1 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 7】 本発明の実施の形態 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 8】 端面部に形成された仮想単層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 9】 本発明の実施の形態 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 10】 本発明の実施の形態 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 11】 本発明の実施の形態 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 12】 本発明の実施の形態 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 13】 本発明の実施の形態 7 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 14】 本発明の実施の形態 8 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 15】 本発明の実施の形態 9 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 16】 本発明の実施の形態 9 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 17】 本発明の実施の形態 10 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 18】 本発明の実施の形態 11 に係る半導体光素子の端面部に形成さ

れた多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 19】 本発明の実施の形態 12 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 20】 本発明の実施の形態 13 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 21】 本発明の実施の形態 14 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 22】 本発明の実施の形態 15 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 23】 本発明の実施の形態 16 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 24】 本発明の実施の形態 17 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 25】 本発明の実施の形態 17 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 26】 本発明の実施の形態 18 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 27】 本発明の実施の形態 19 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 28】 本発明の実施の形態 20 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 29】 本発明の実施の形態 21 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 30】 本発明の実施の形態 22 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 31】 本発明の実施の形態 23 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 32】 本発明の実施の形態 24 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 3】 本発明の実施の形態 2 5 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 3 4】 本発明の実施の形態 2 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 5】 本発明の実施の形態 2 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 6】 本発明の実施の形態 2 7 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 7】 本発明の実施の形態 2 8 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 8】 本発明の実施の形態 2 9 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 3 9】 本発明の実施の形態 3 0 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 0】 本発明の実施の形態 3 1 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 1】 本発明の実施の形態 3 2 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 2】 本発明の実施の形態 3 3 に係る半導体光素子の端面部の構造を示す概略断面図である。

【図 4 3】 本発明の実施の形態 3 3 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 4】 本発明の実施の形態 3 4 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 5】 本発明の実施の形態 3 5 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 6】 本発明の実施の形態 3 6 に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図 4 7】 本発明の実施の形態 3 7 に係る半導体光素子の端面部に形成さ

れた多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図48】 本発明の実施の形態38に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

【図49】 本発明の実施の形態39に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

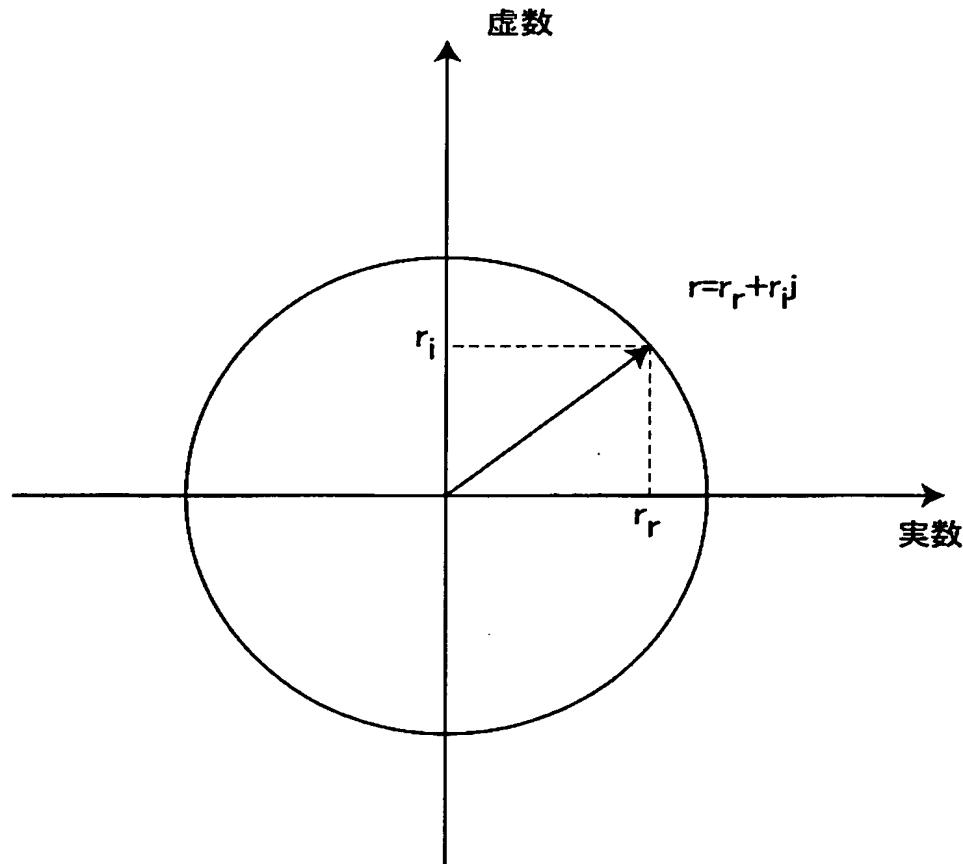
【図50】 本発明の実施の形態40に係る半導体光素子の端面部に形成された多層反射膜における反射率の波長依存性を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

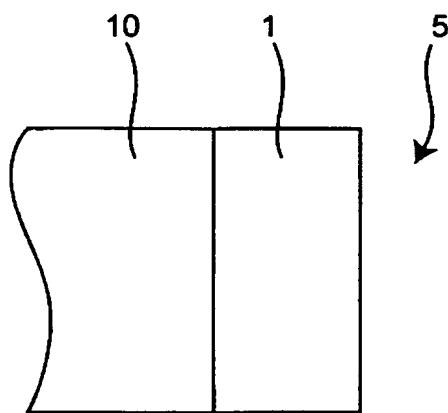
1 第1層膜、2 第2層膜、3 第3層膜、4 第4層膜、5 自由空間（空気）、10 導波層、11、21、31、41、51 第1層膜、12、22、32、42、52 第2層膜、13、23、33、43、53 第3層膜、14、24、34、44、54 第4層膜、15、25、35、45、55 第5層膜、16、26、36、46、56 第6層膜、17、27、47、57 第7層膜、20 7層反射膜（第1層膜：アルミナ）、30 7層反射膜（第1層膜：酸化タンタル）、40 6層反射膜、50 7層反射膜（窒化アルミニウム膜を含む）、58 第8層膜、59 第9層膜、60 9層反射膜、100 導波層、101 反射膜、103 単層反射膜（膜厚  $d = \lambda / (4n_1)$ ）、104 単層反射膜（膜厚  $d = 5\lambda / (4n_1)$ ）

【書類名】 図面

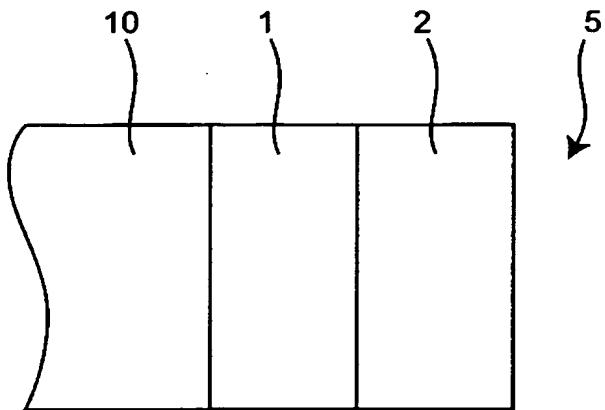
【図 1】



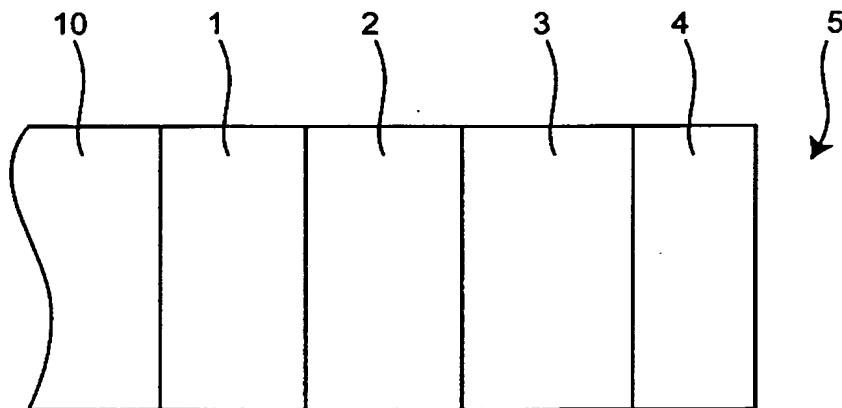
【図 2】



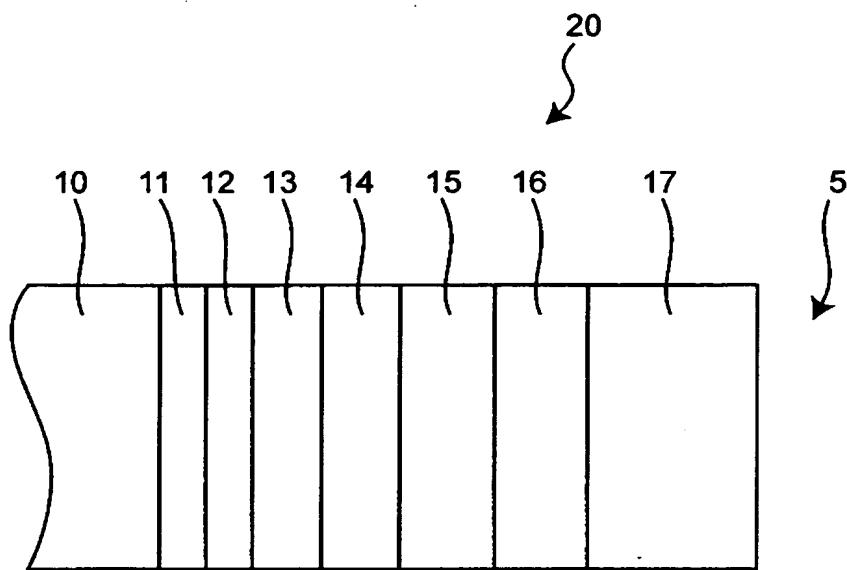
【図3】



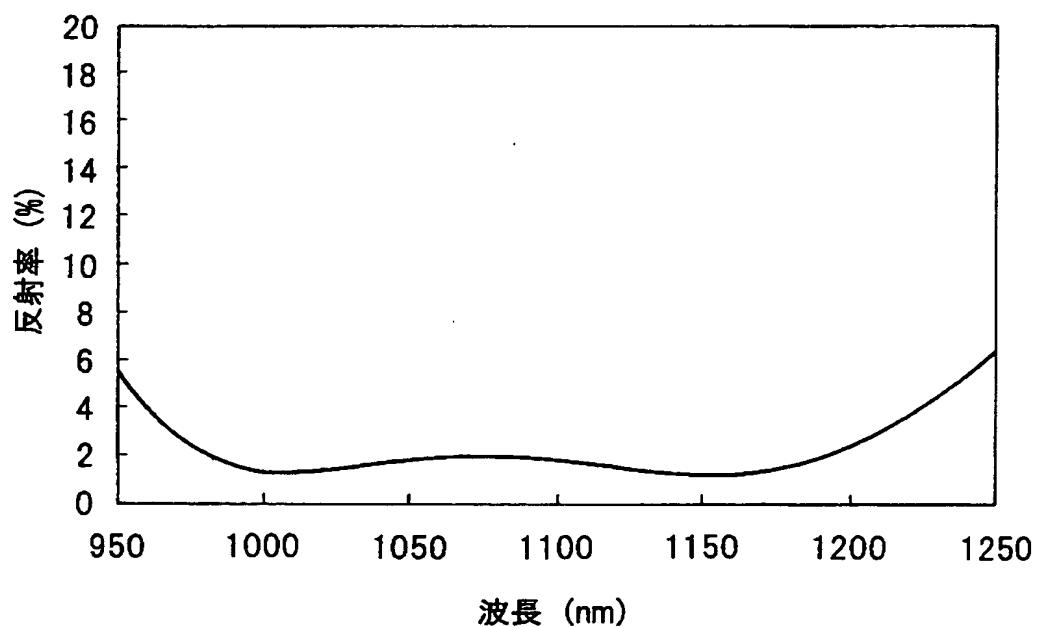
【図4】



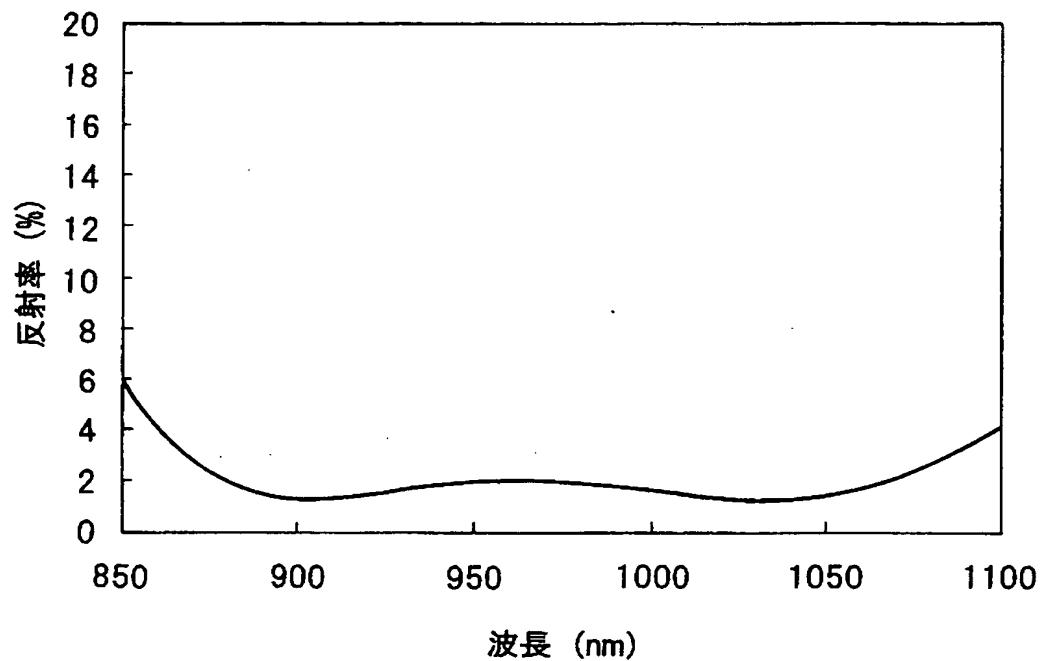
【図 5】



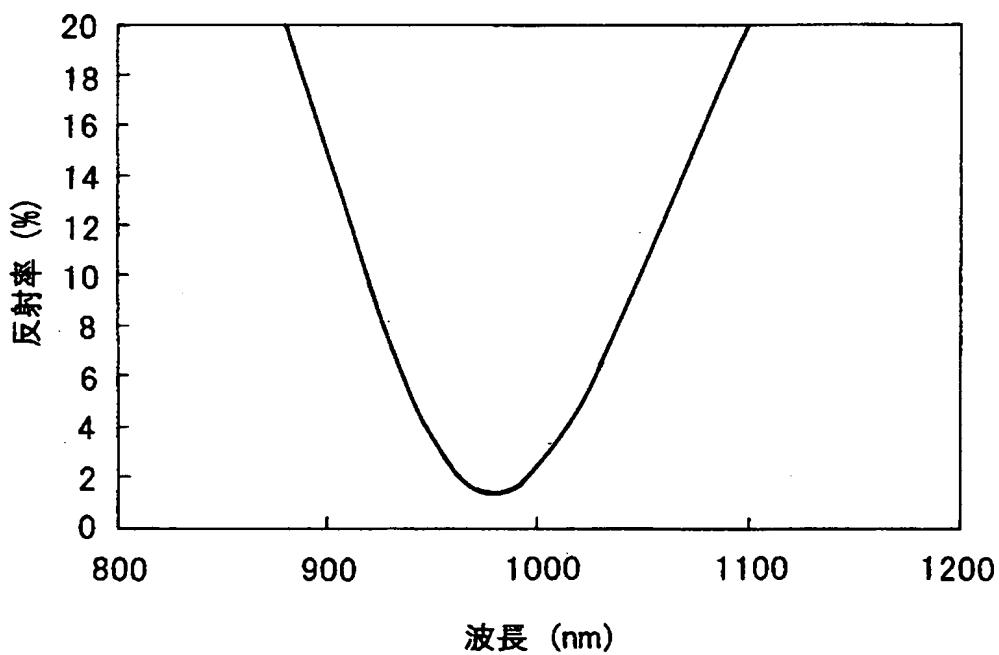
【図 6】



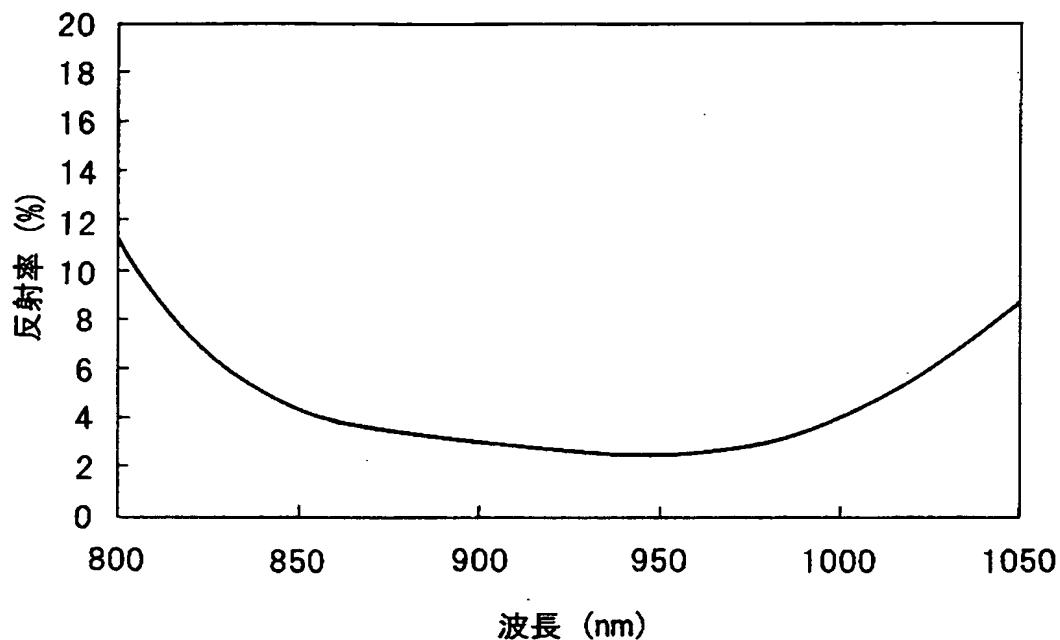
【図 7】



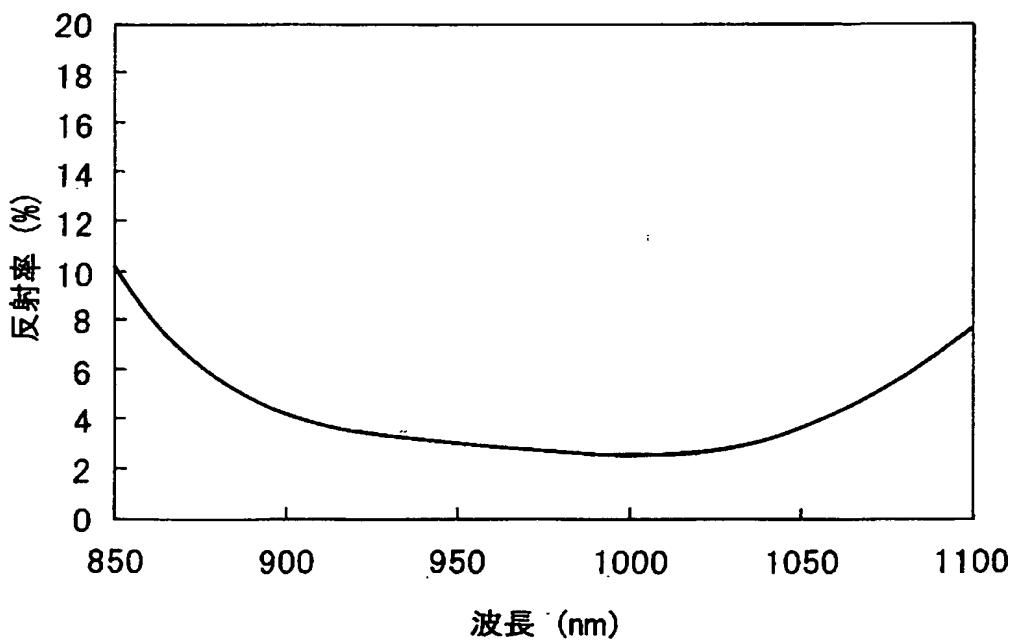
【図 8】



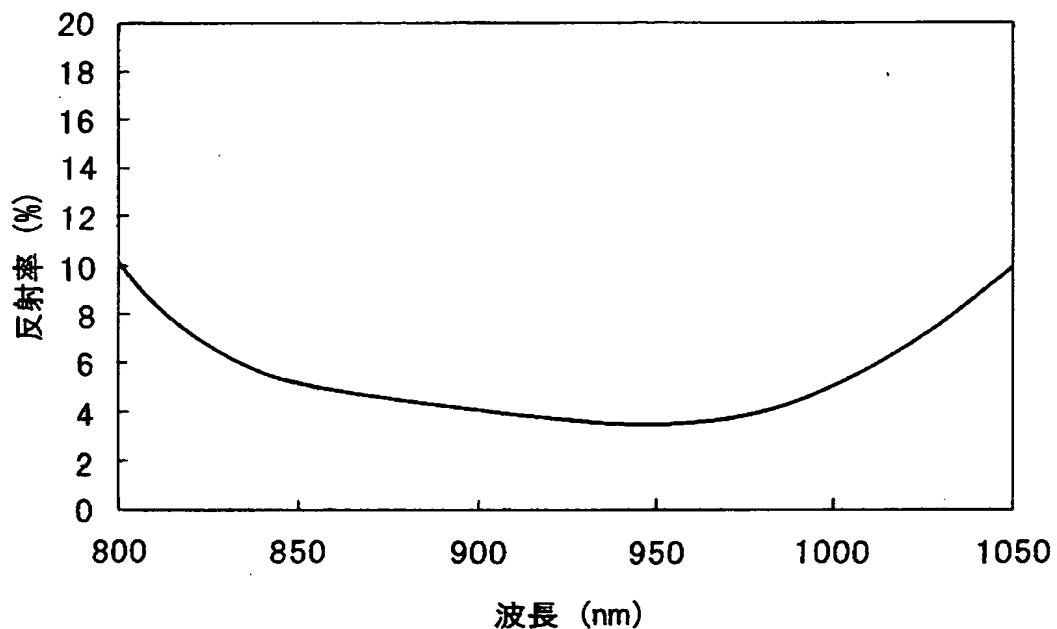
【図9】



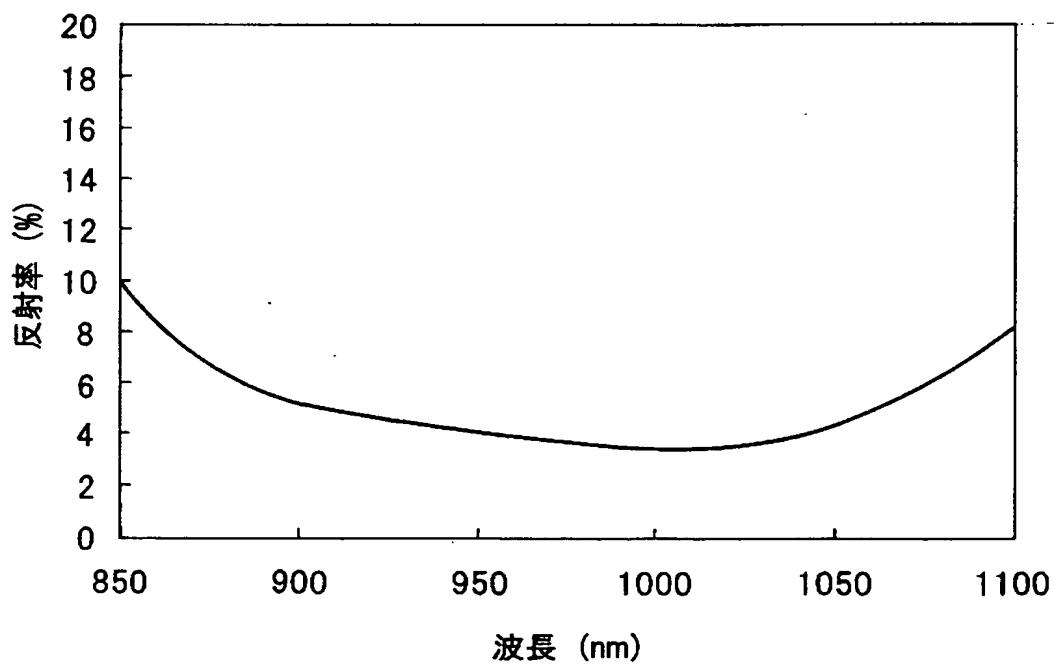
【図10】



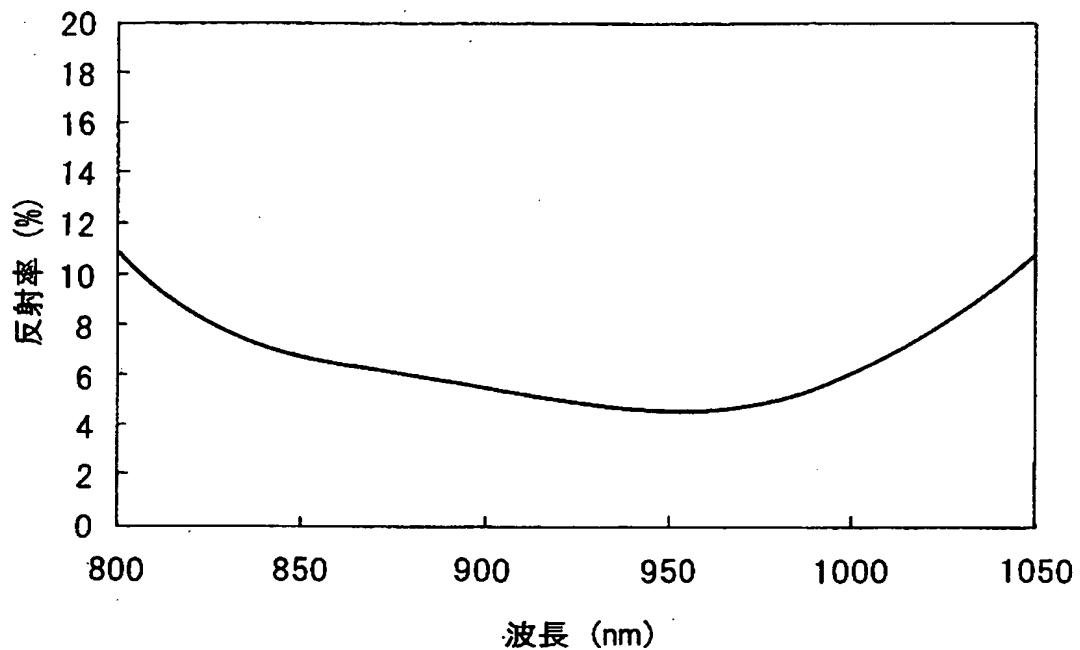
【図11】



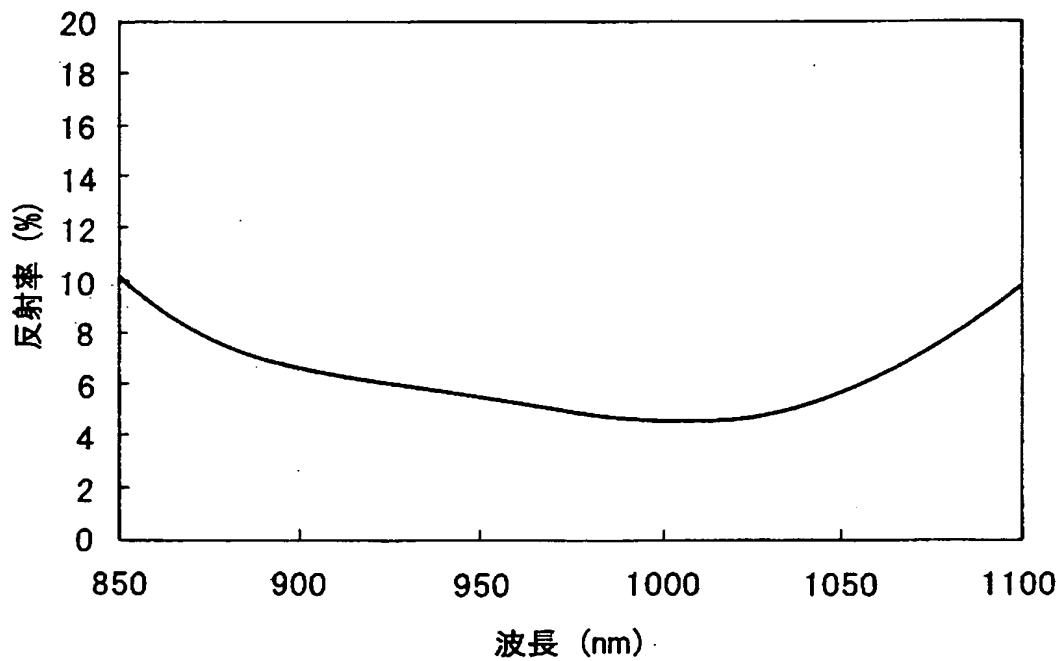
【図12】



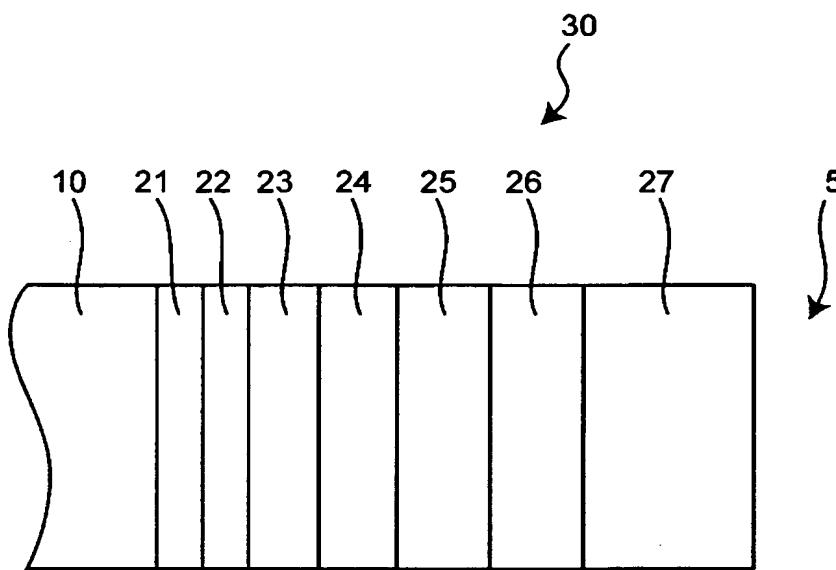
【図13】



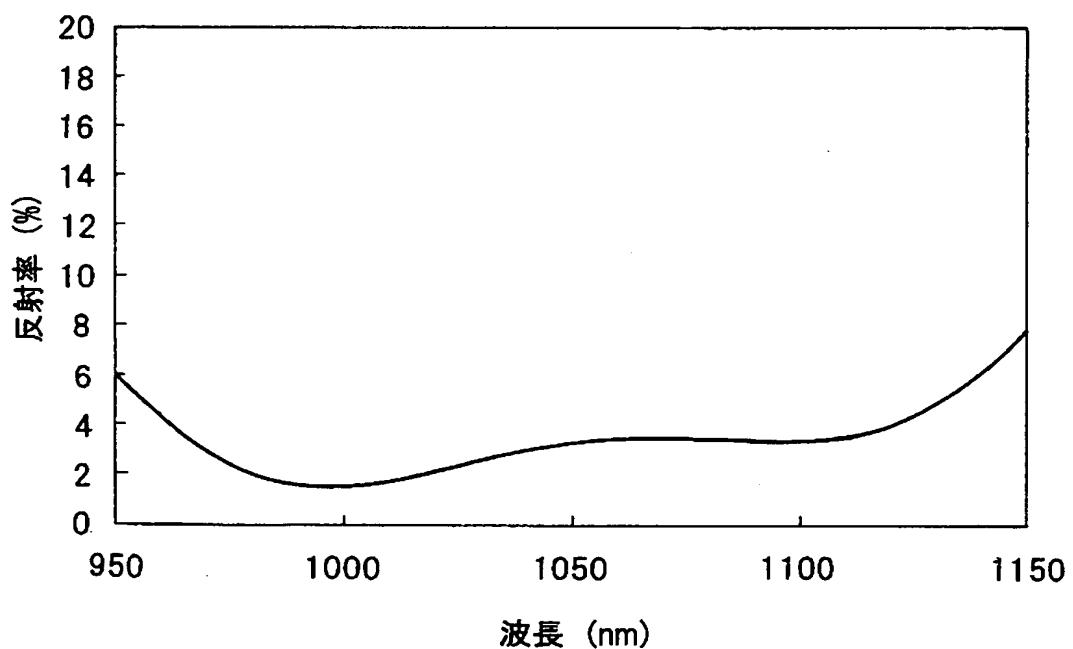
【図14】



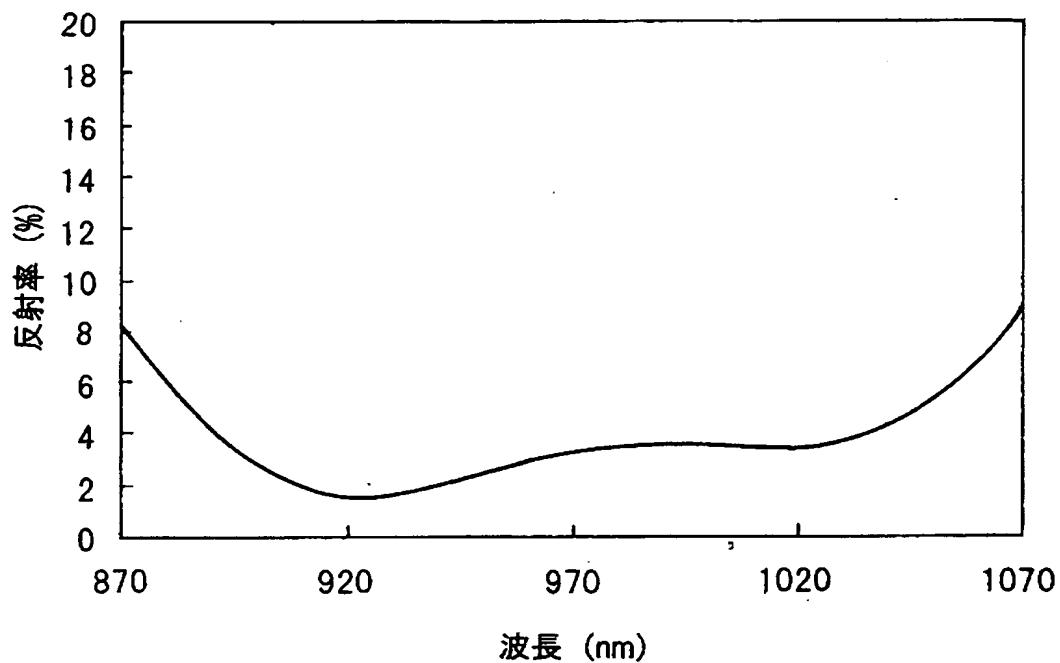
【図15】



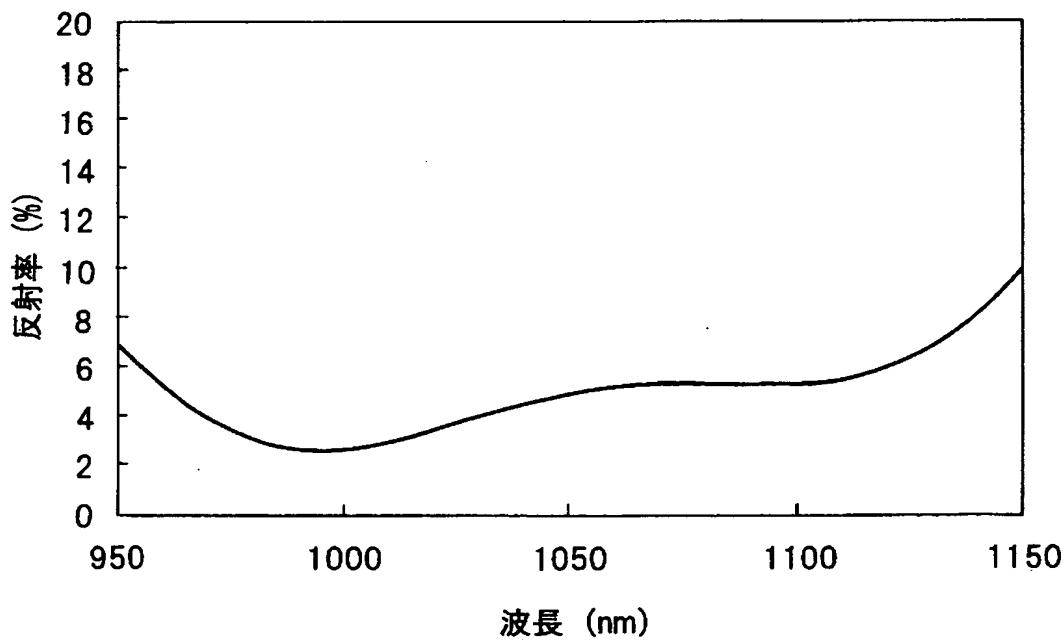
【図16】



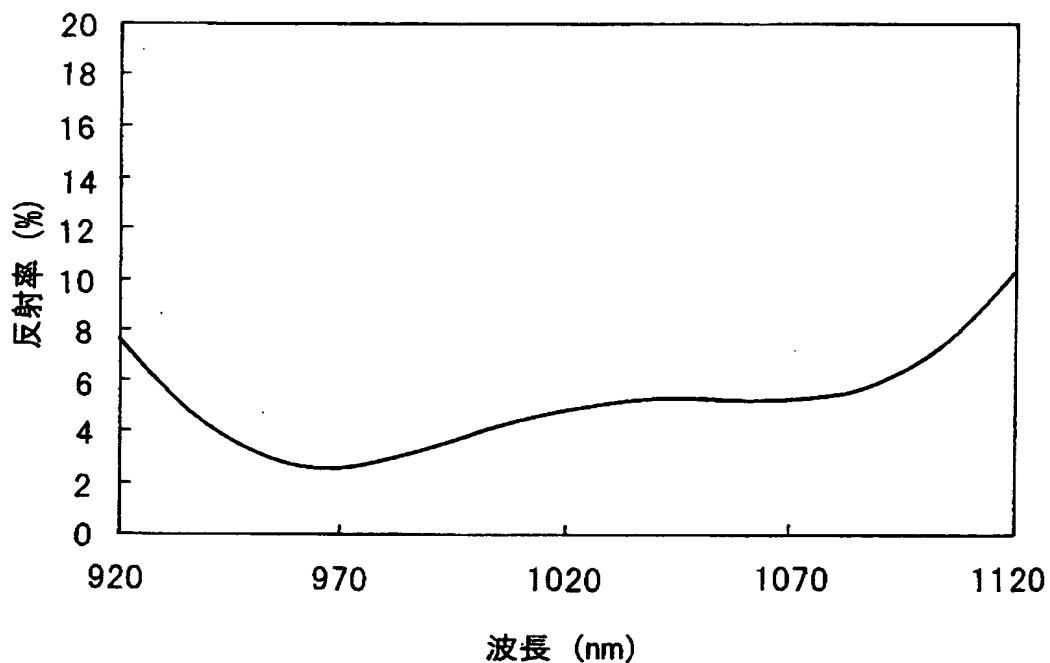
【図17】



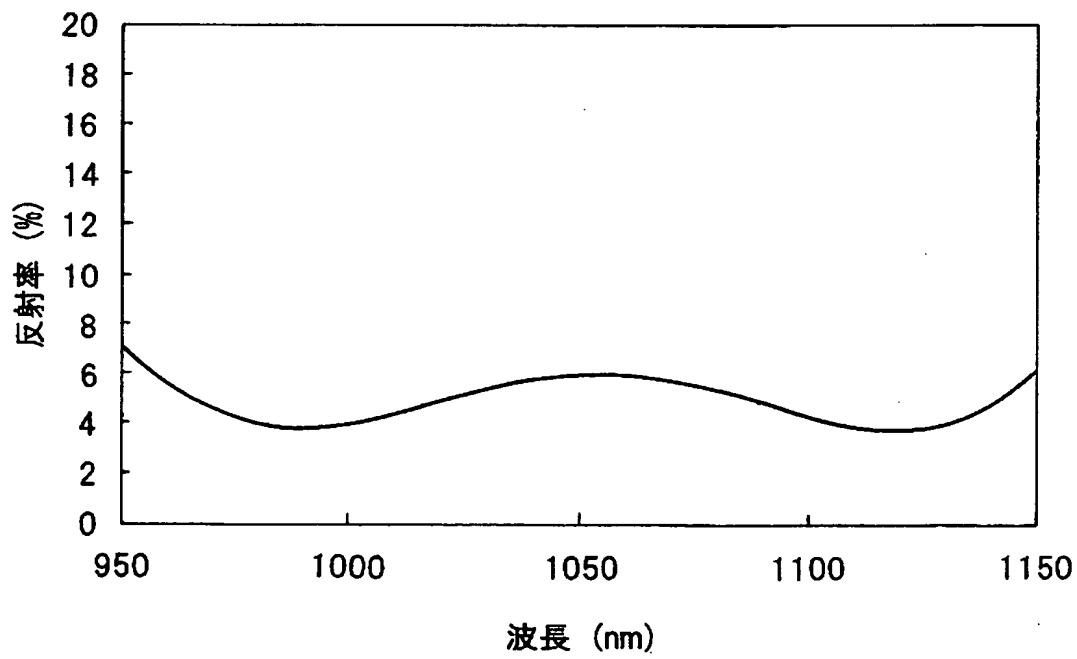
【図18】



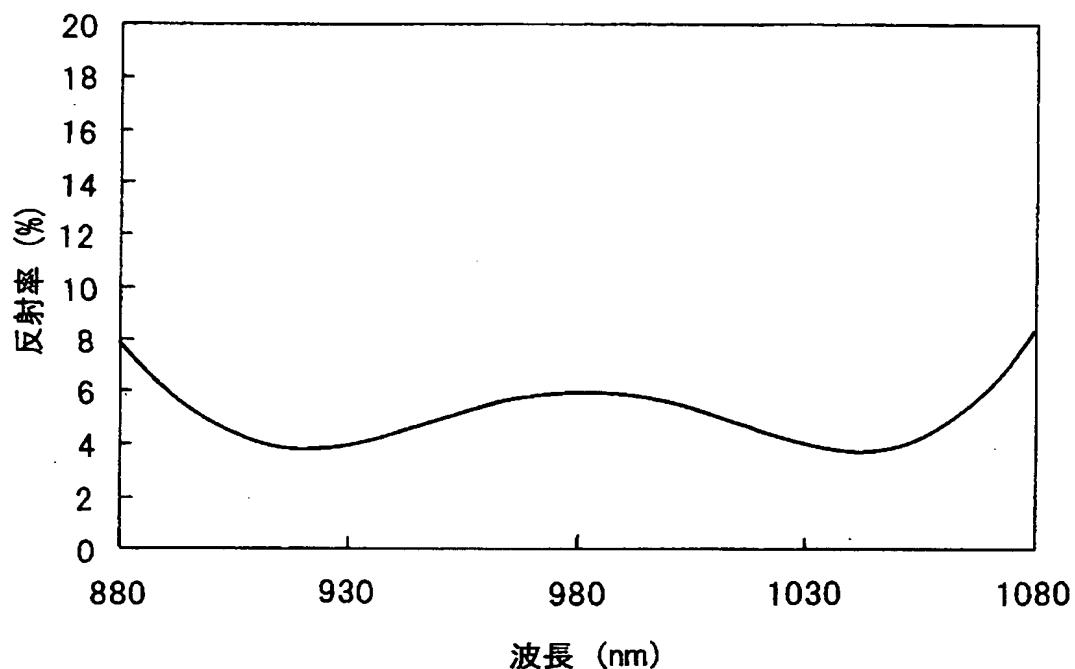
【図19】



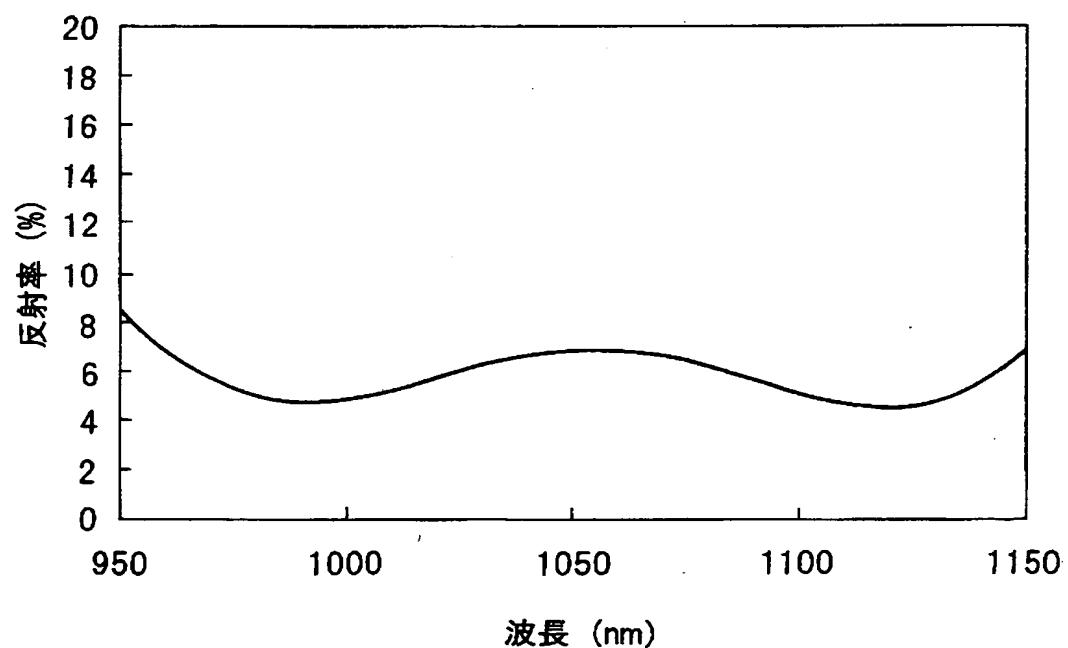
【図20】



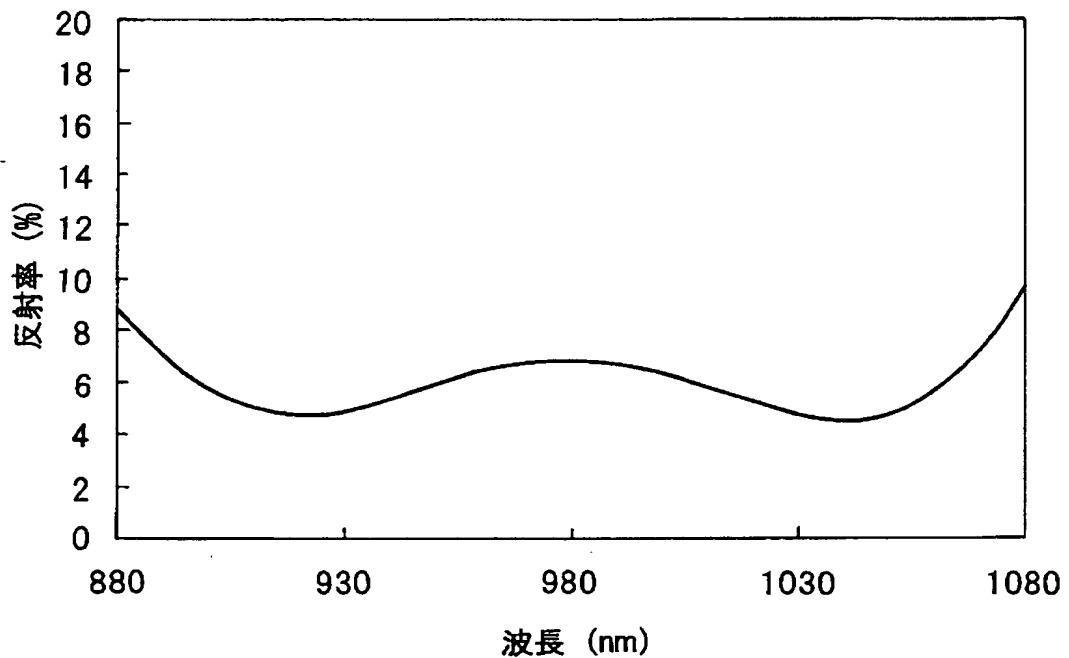
【図21】



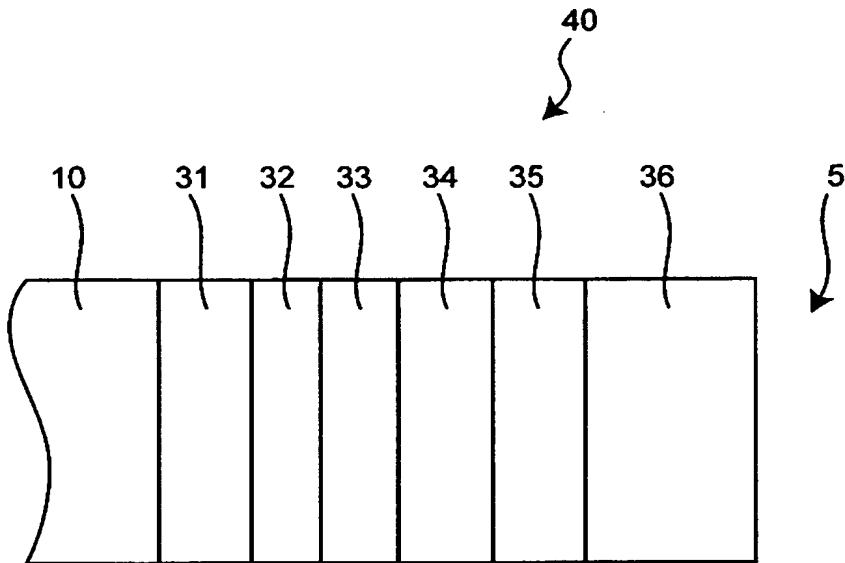
【図22】



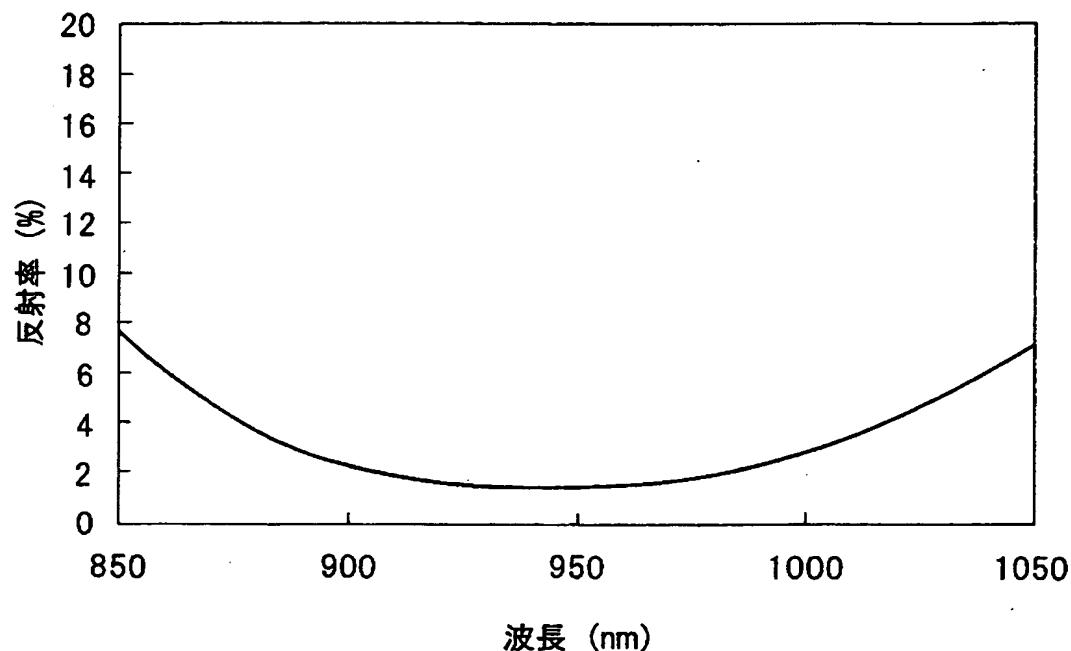
【図23】



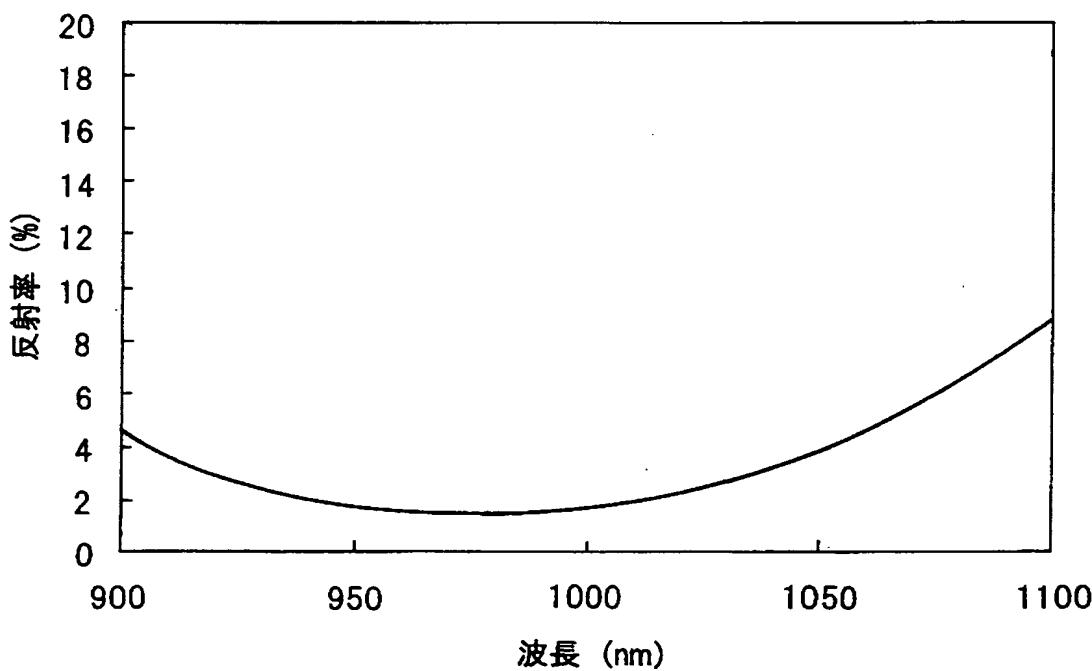
【図24】



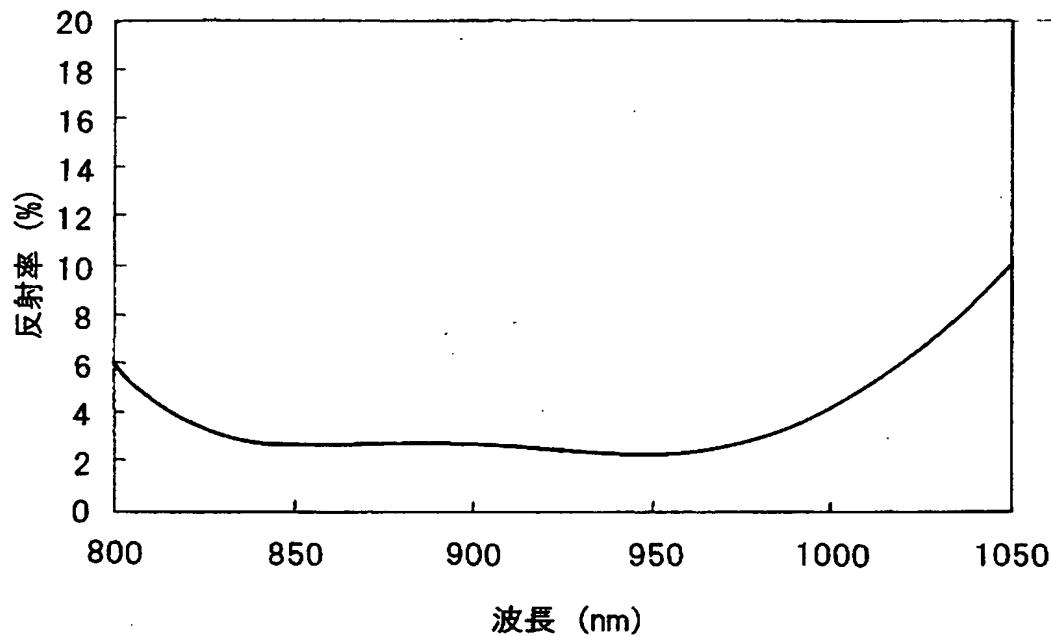
【図25】



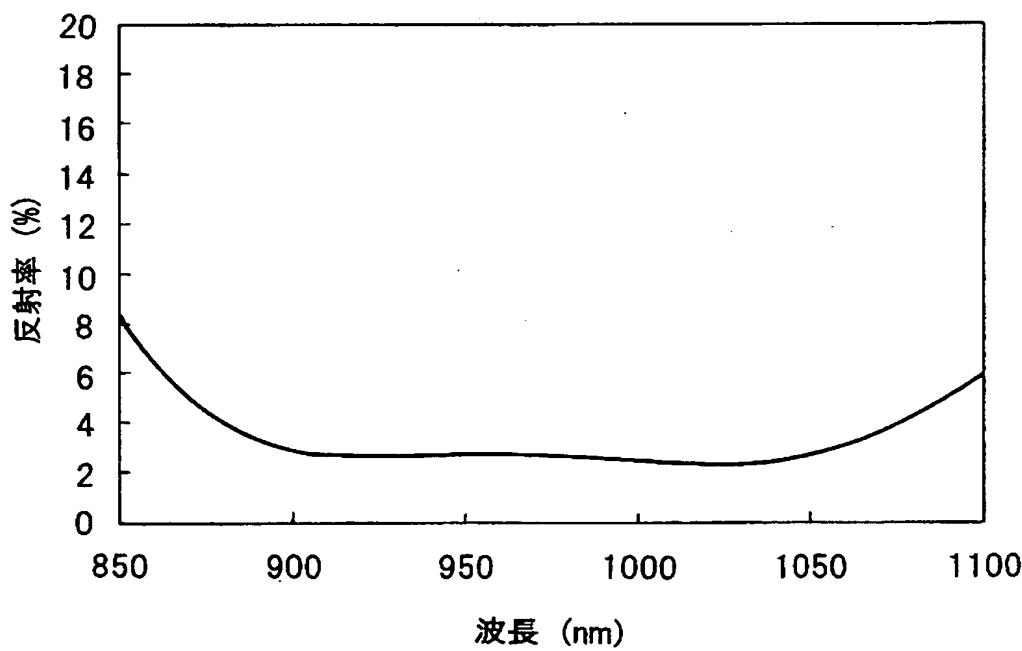
【図26】



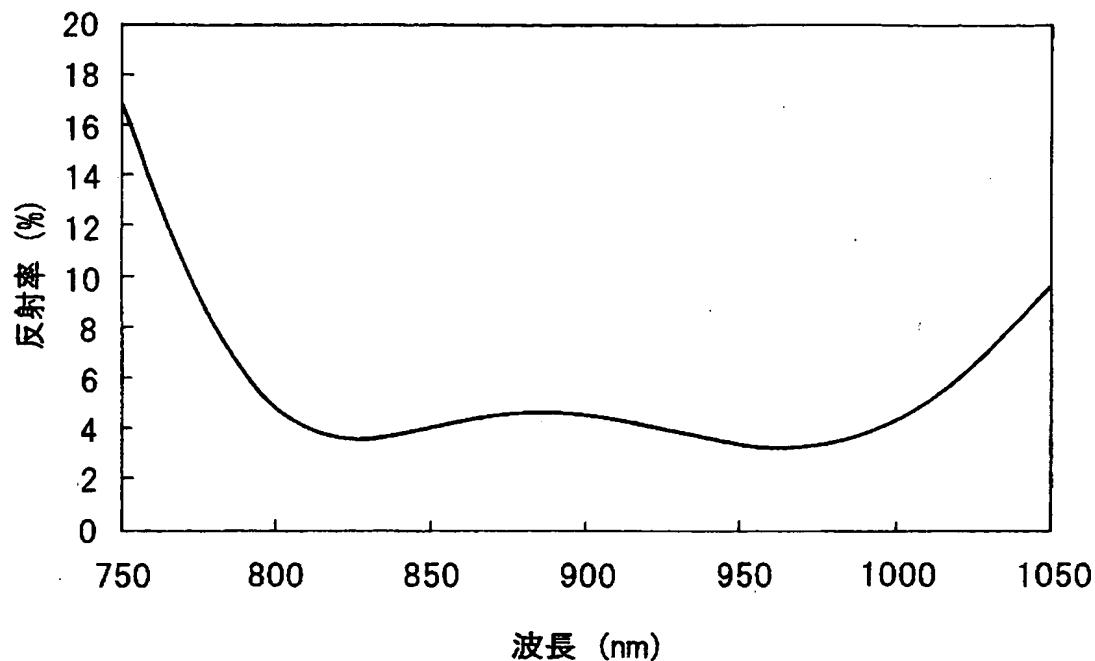
【図27】



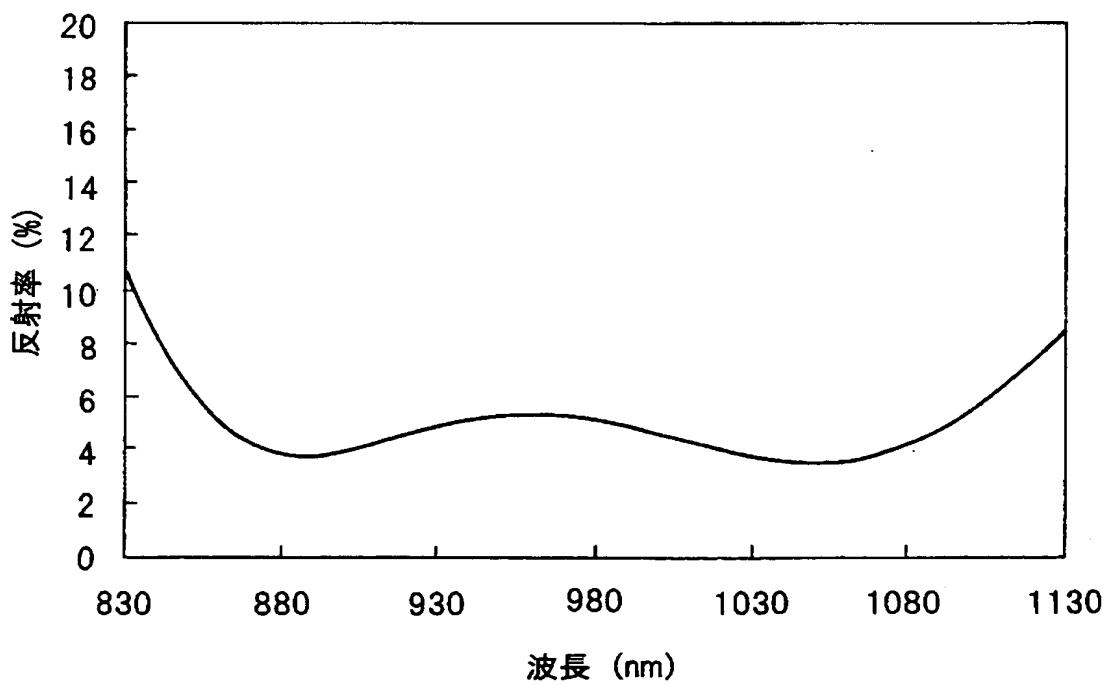
【図28】



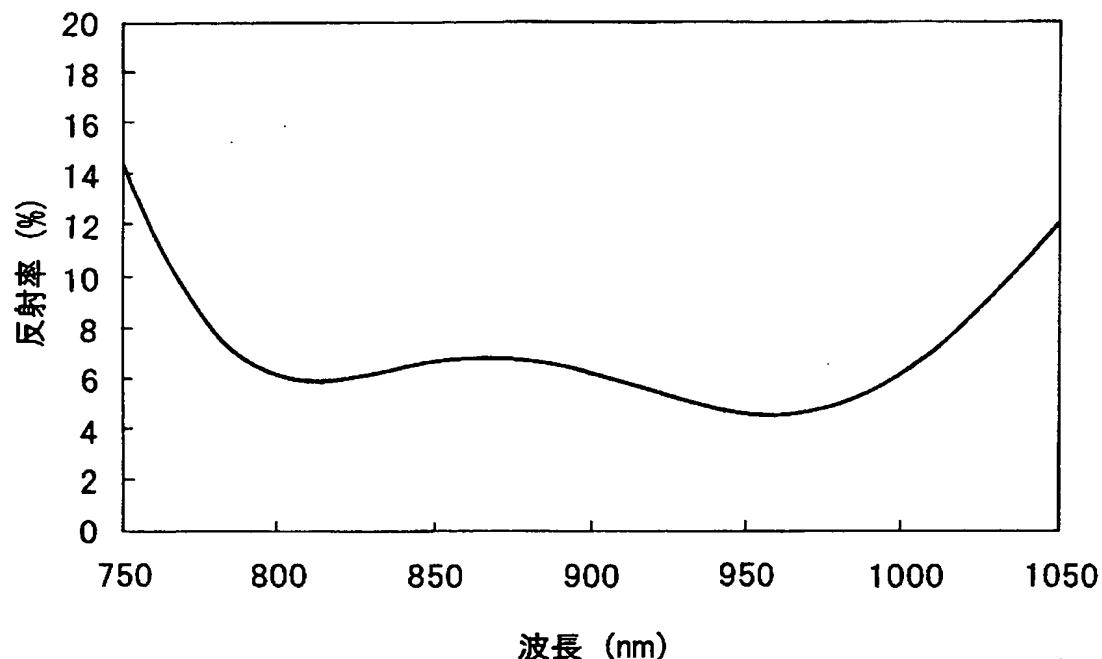
【図29】



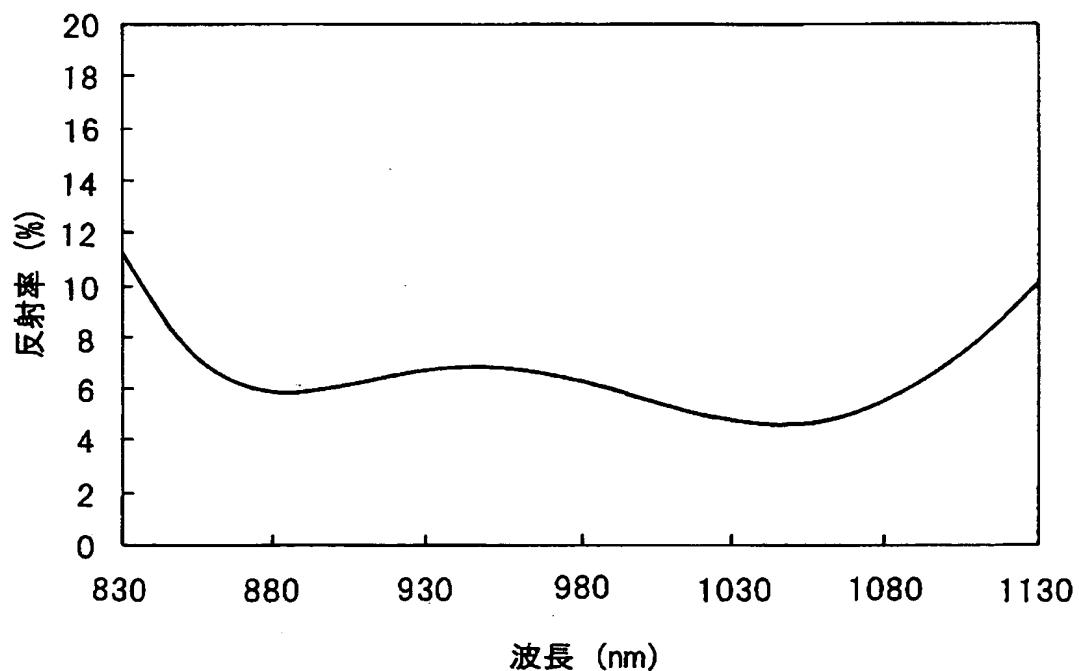
【図30】



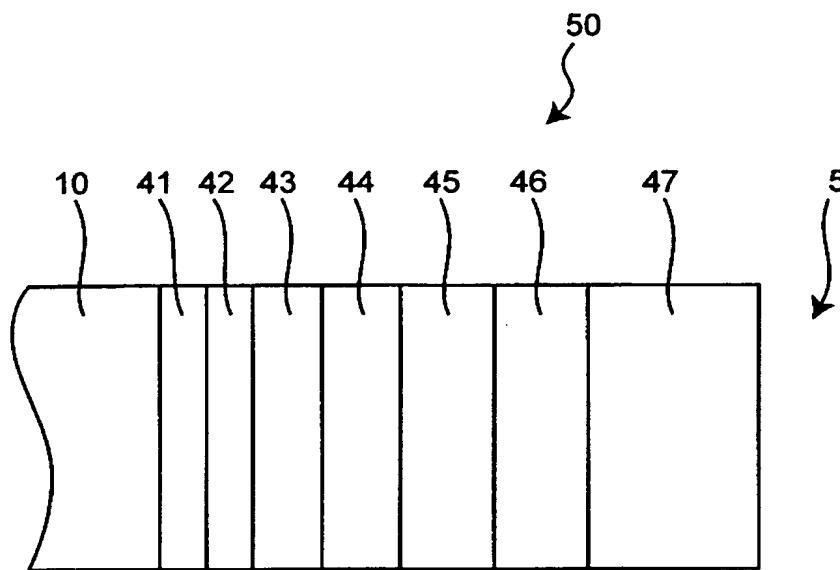
【図31】



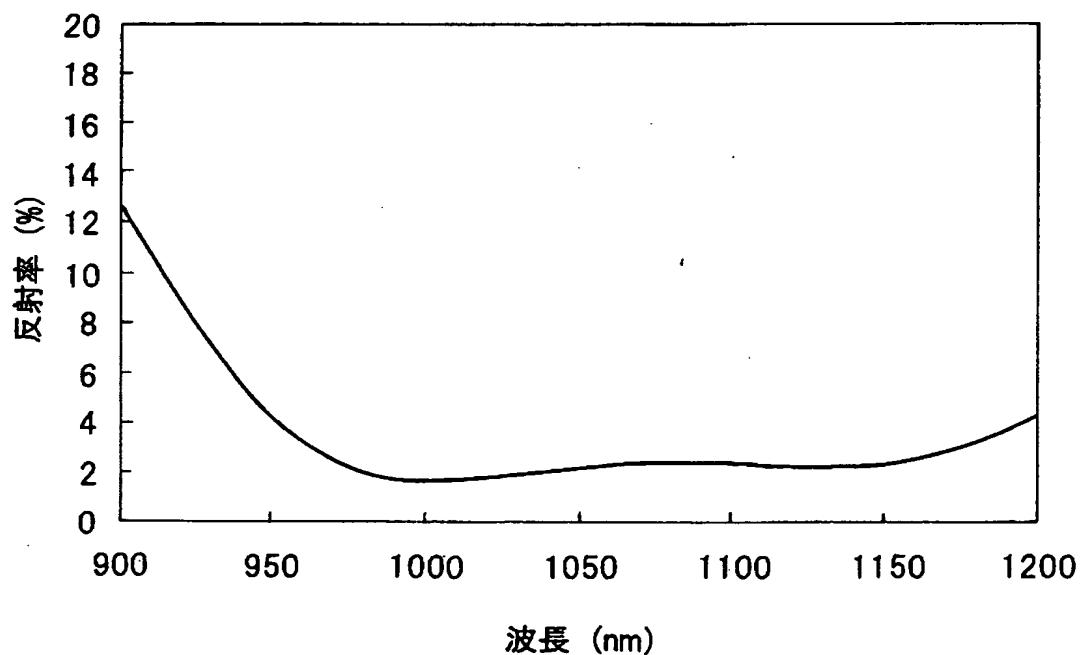
【図32】



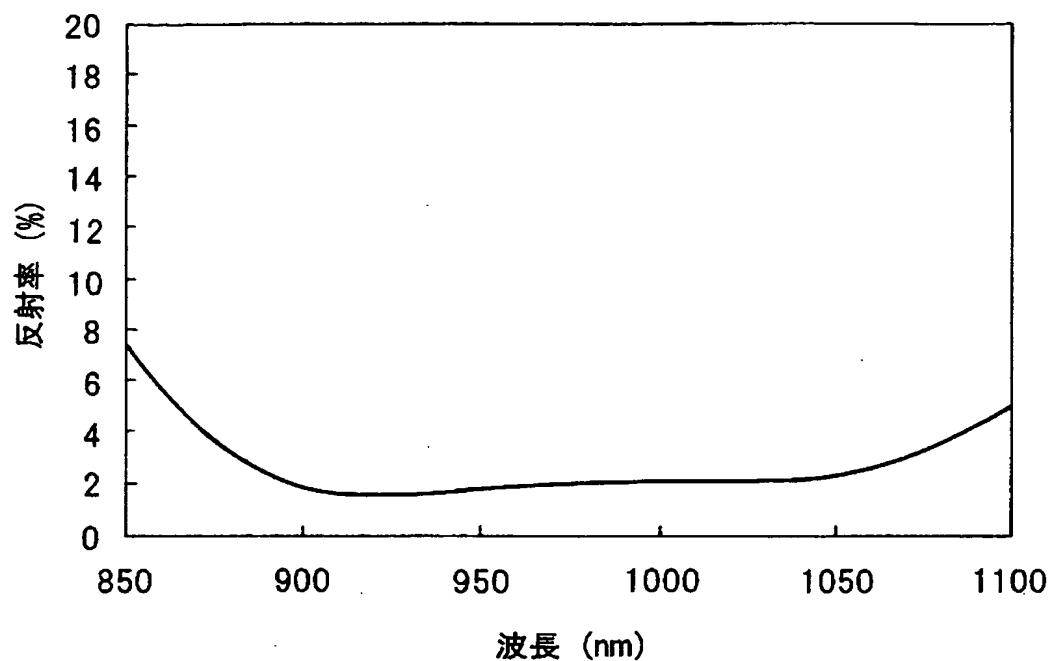
【図33】



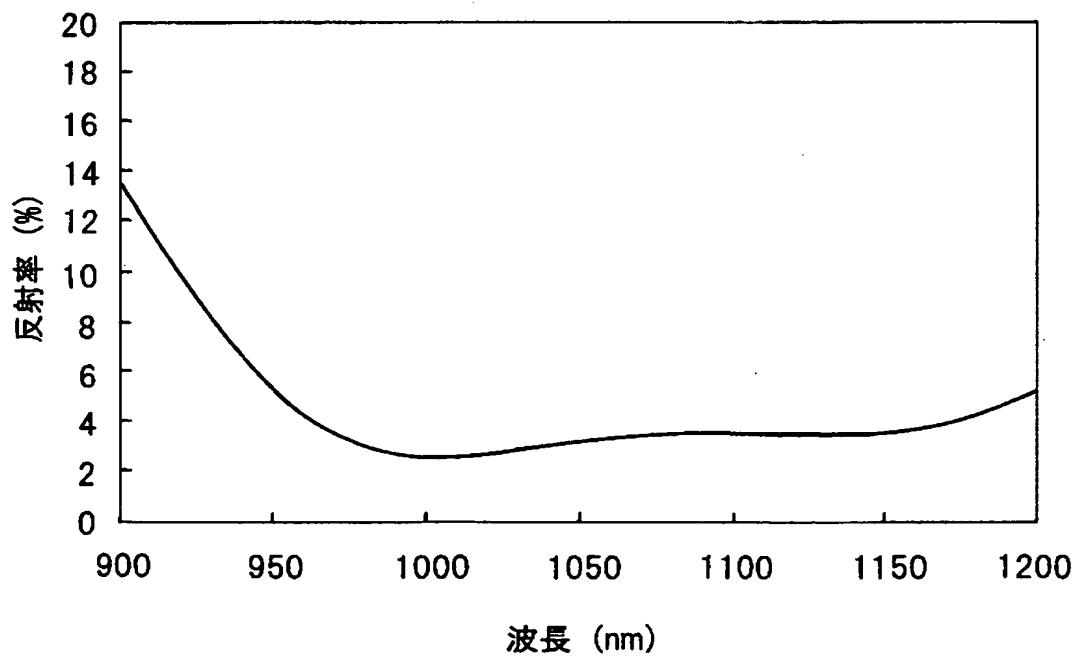
【図34】



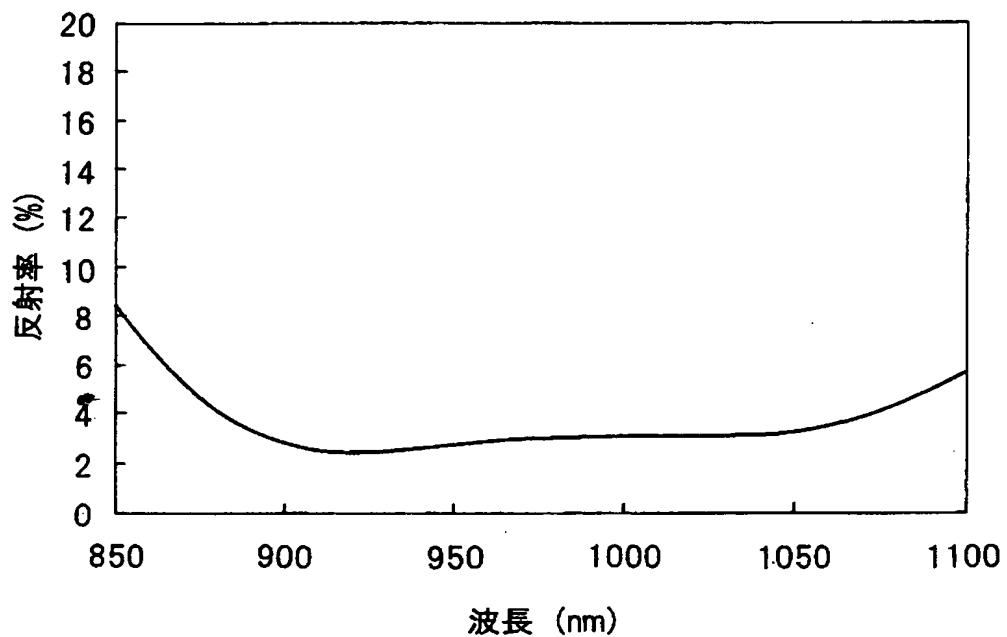
【図35】



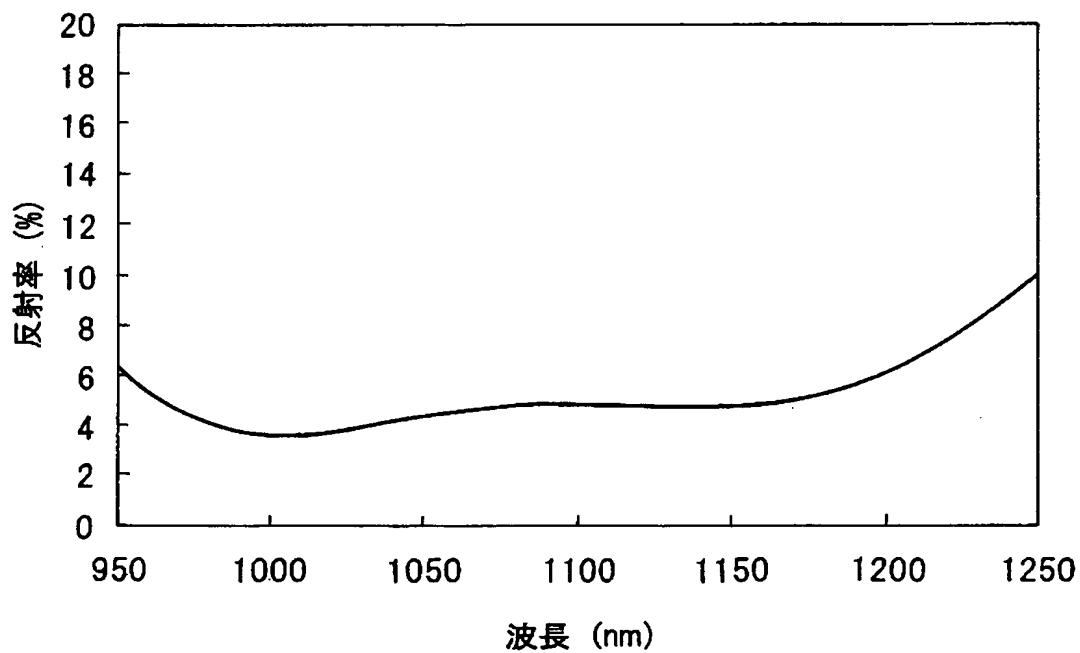
【図36】



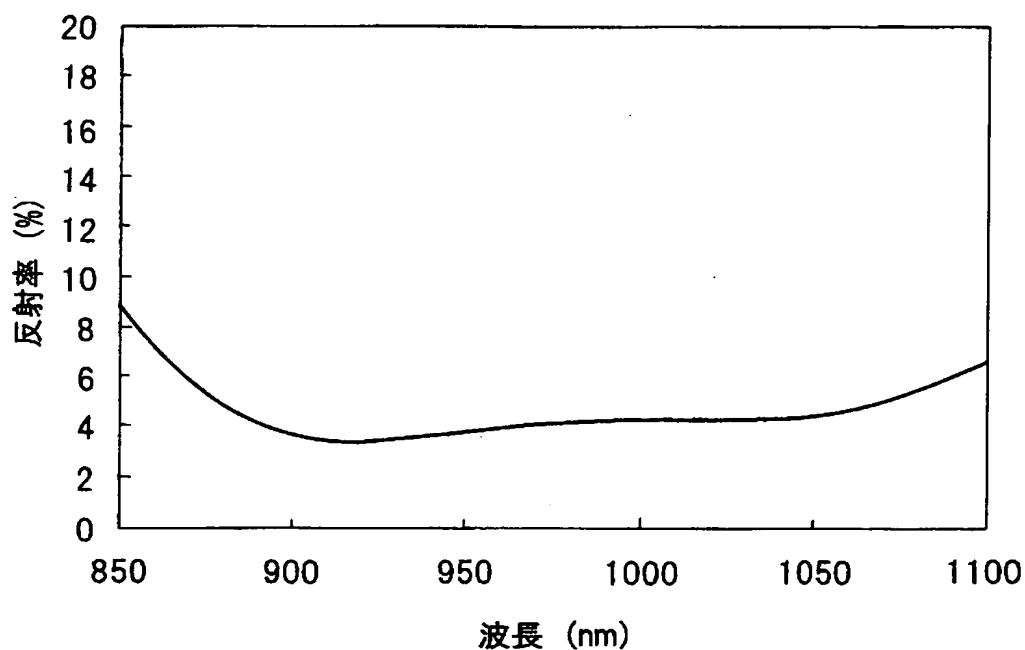
【図37】



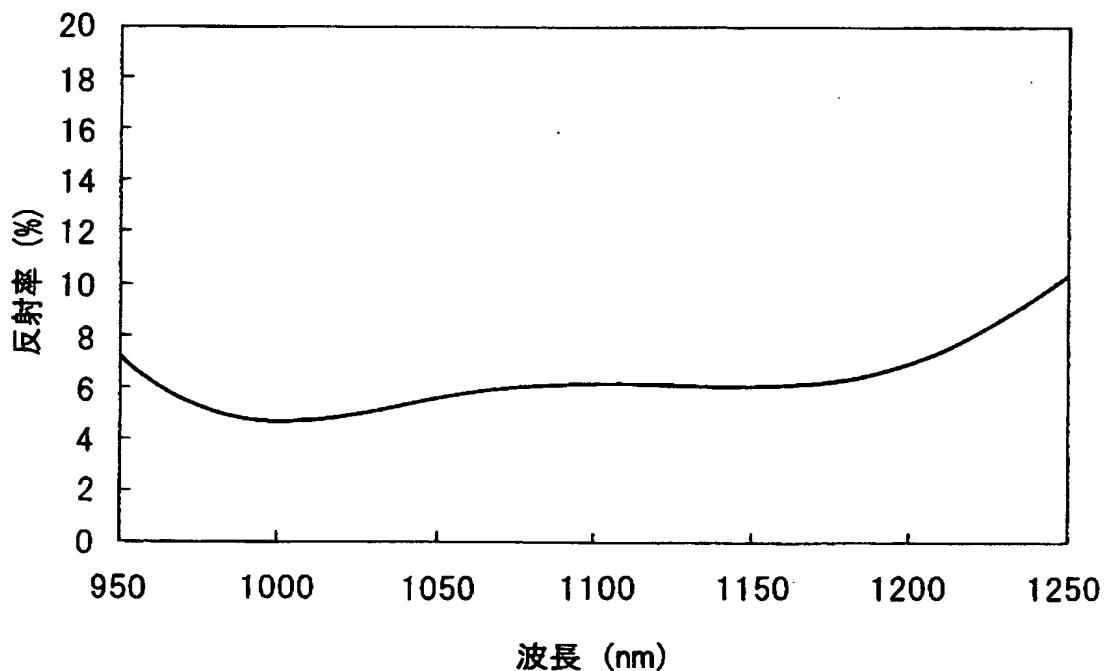
【図38】



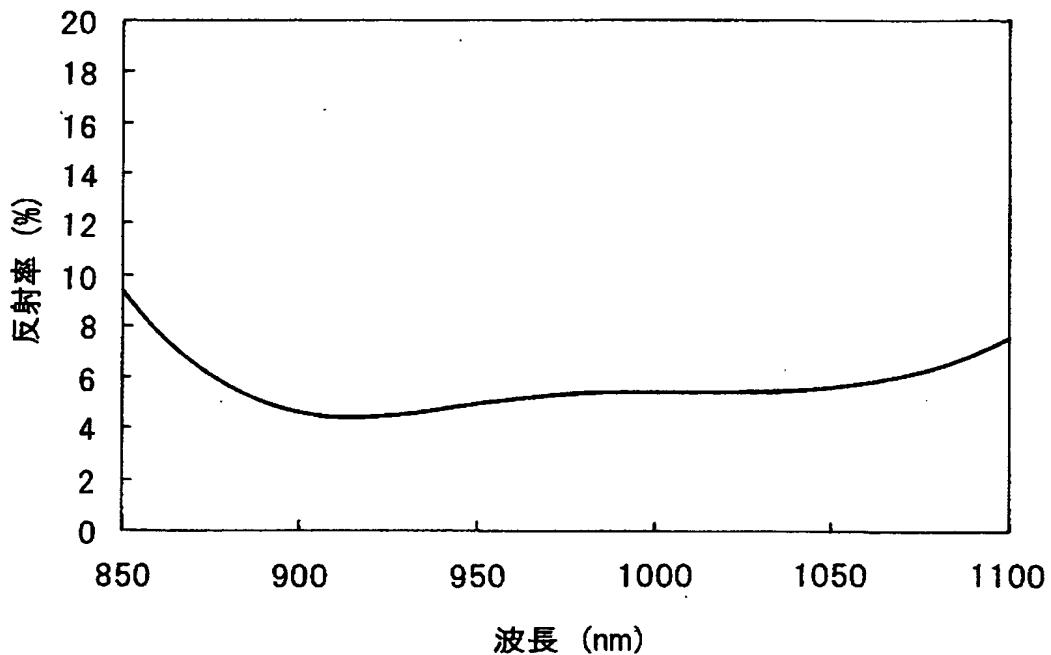
【図 39】



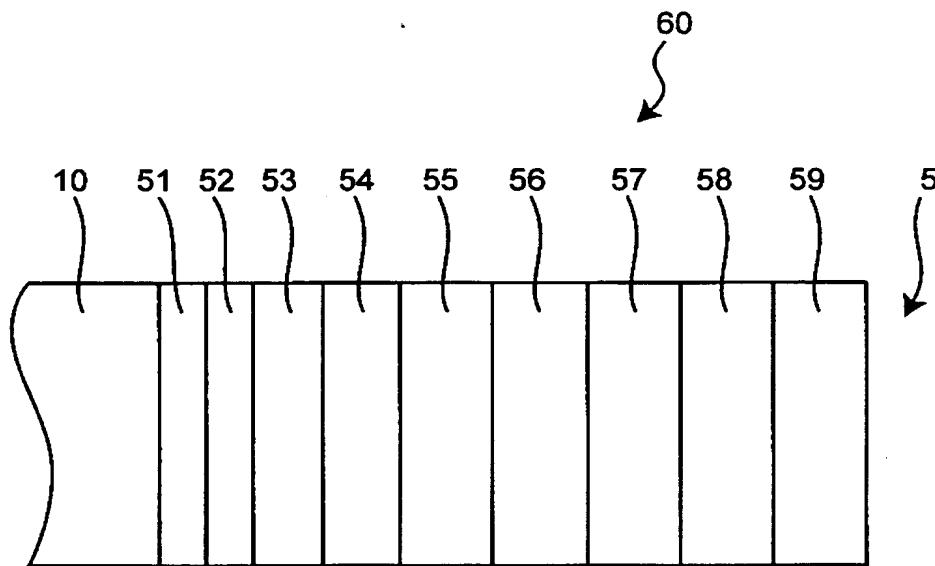
【図 40】



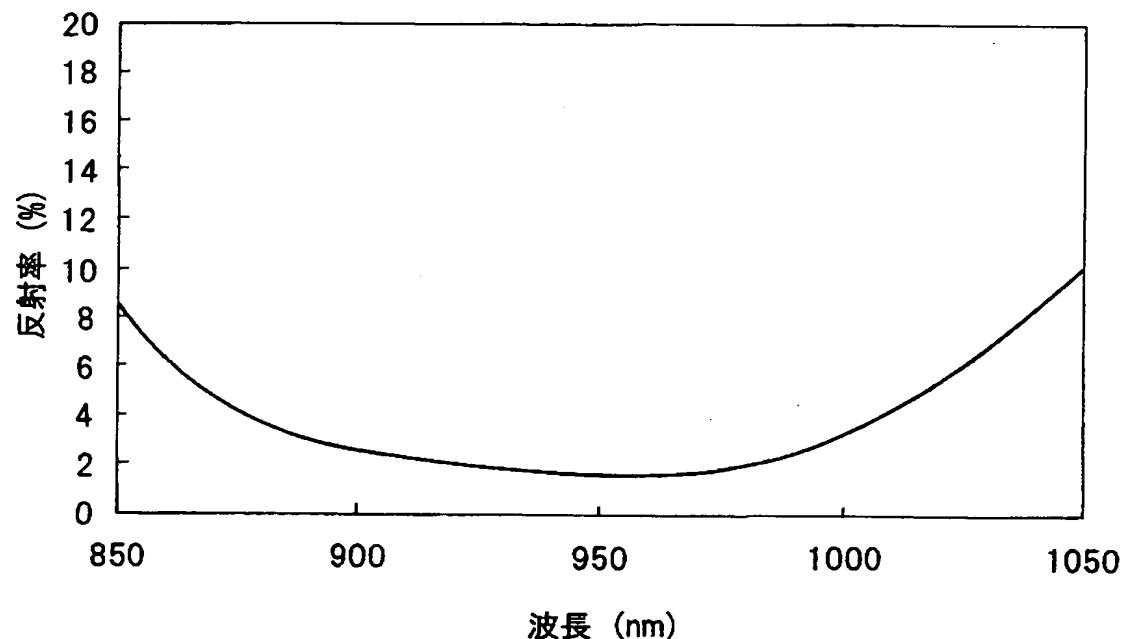
【図4.1】



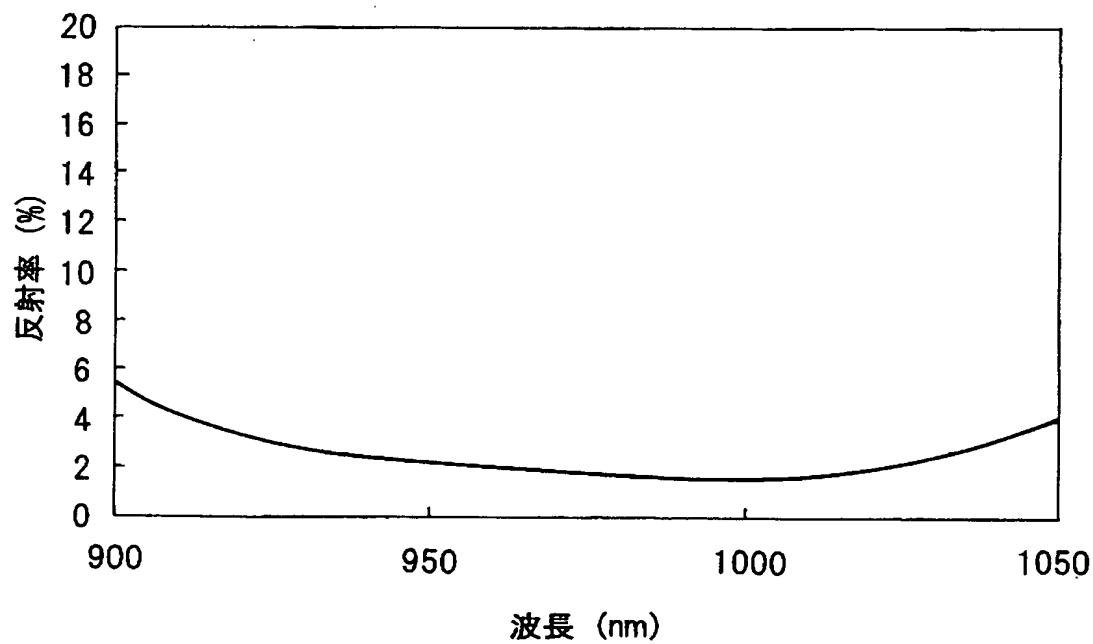
【図4.2】



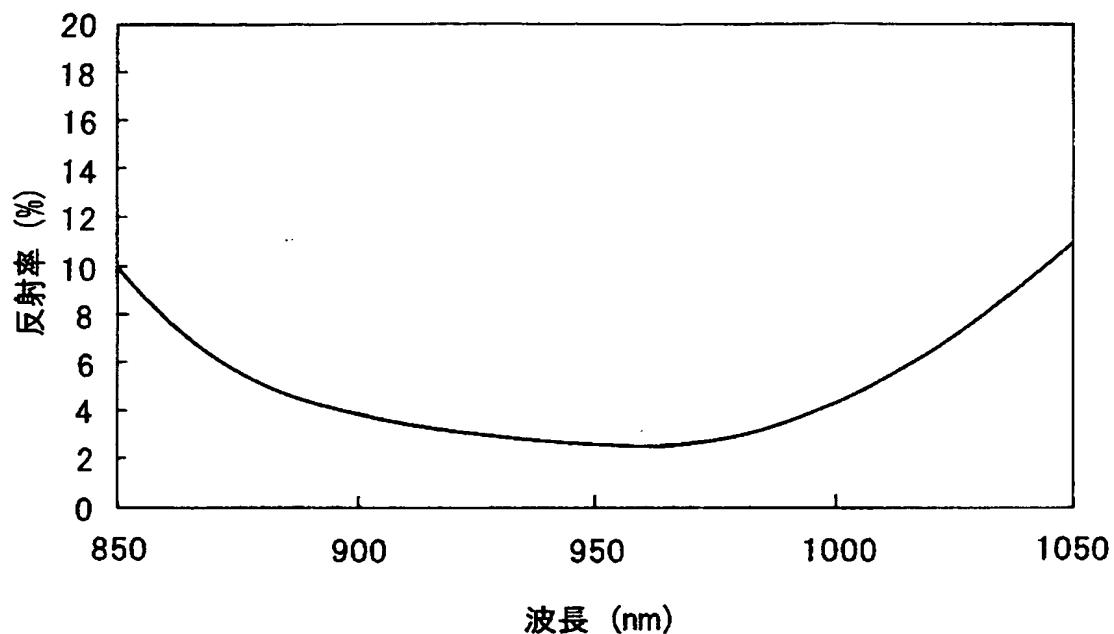
【図43】



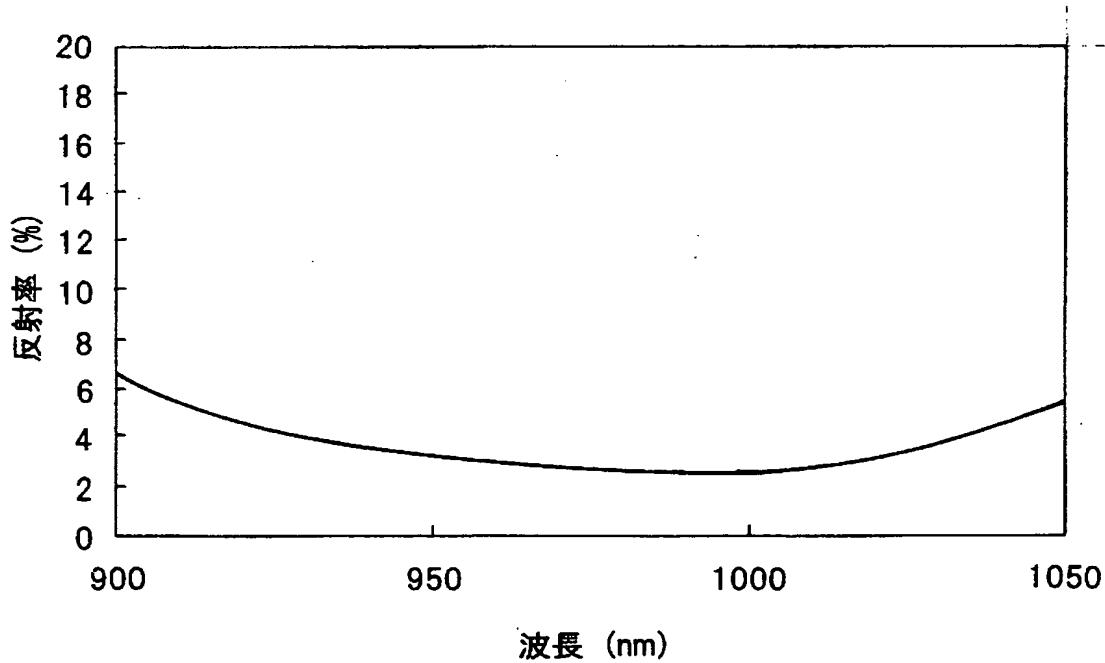
【図44】



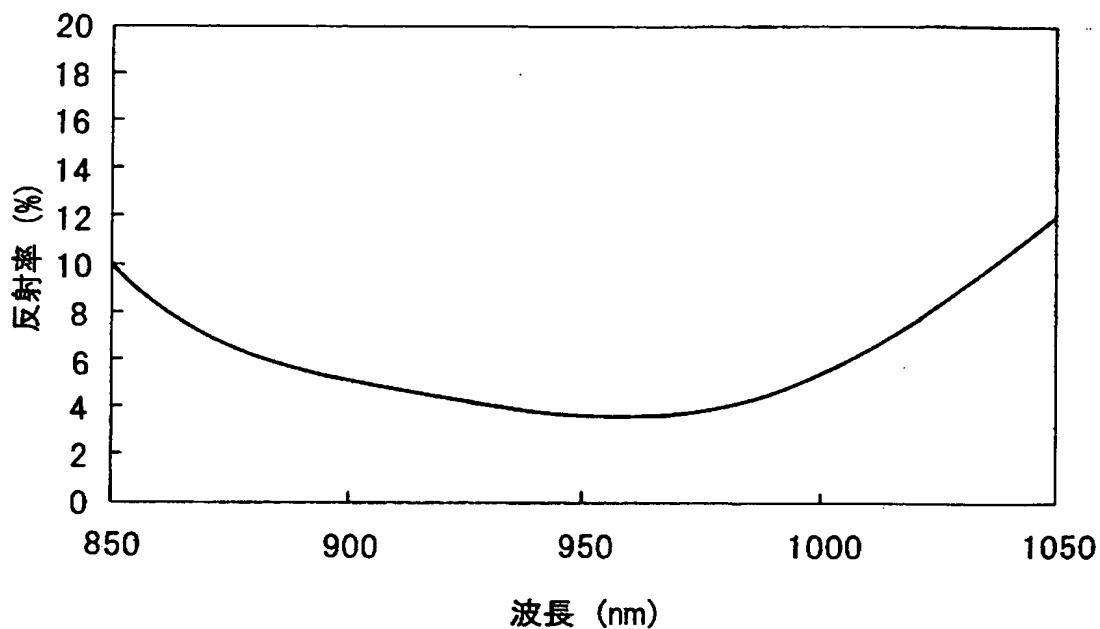
【図45】



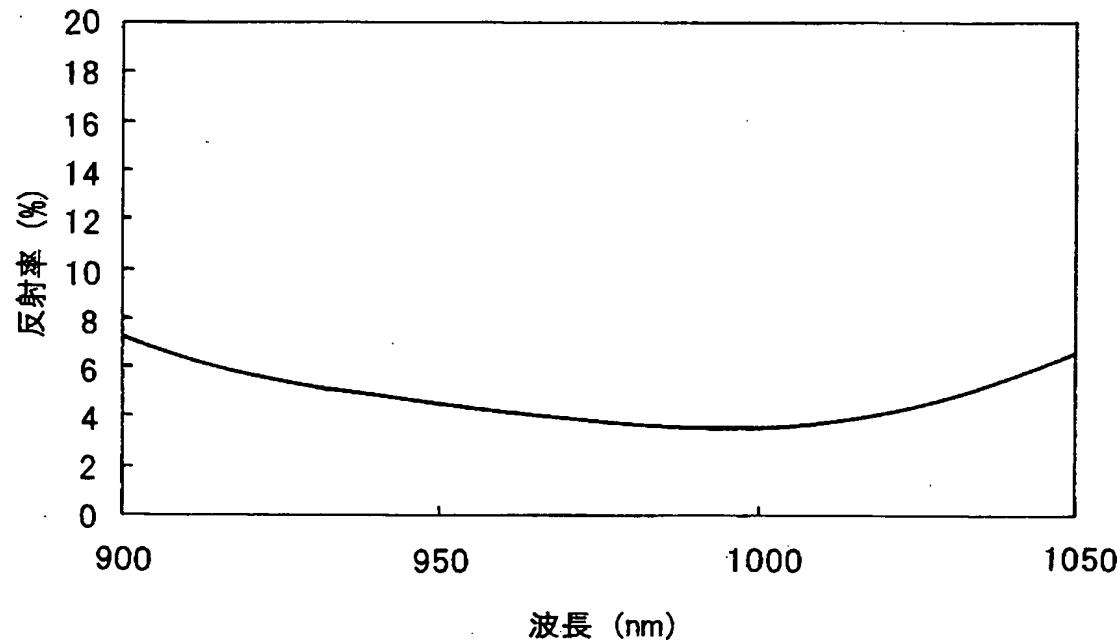
【図46】



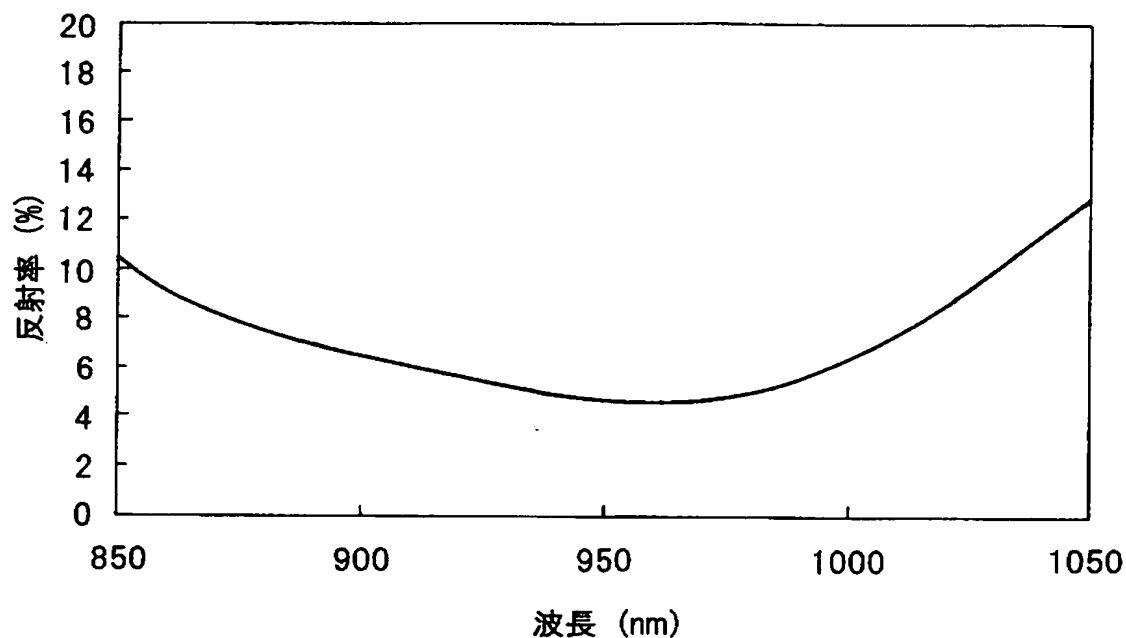
【図47】



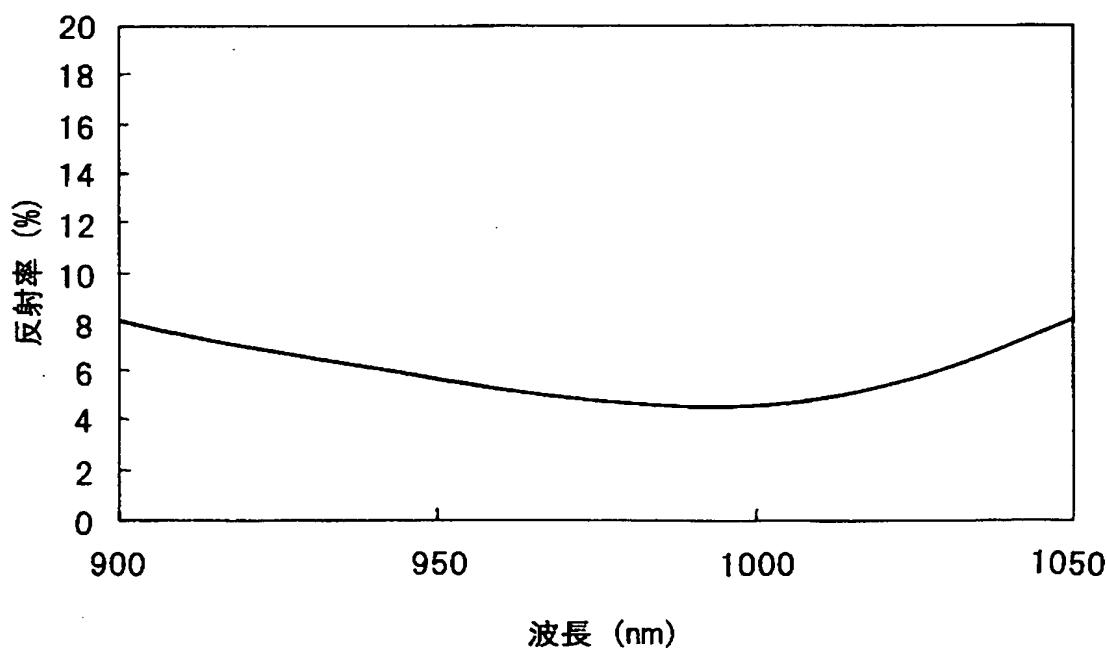
【図48】



【図49】



【図50】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 広い波長帯域にわたって低反射率を有する反射膜を備えた半導体光素子を提供する。

【解決手段】 半導体光素子は、活性層と、前記活性層を挟む2枚のクラッド層とからなる導波層10を含む積層構造体と、前記積層構造体の一対の相対する端面部のうち少なくとも一方の端面部に形成された多層反射膜20とを備え、前記多層反射膜は、それぞれの膜の屈折率n<sub>i</sub>と膜厚d<sub>i</sub>との積n<sub>i</sub>d<sub>i</sub>の総和Σn<sub>i</sub>d<sub>i</sub>が、前記導波層を導波する光の波長λについて、Σn<sub>i</sub>d<sub>i</sub> > λ/4の関係を満足すると共に、前記多層反射膜は、反射率が前記波長λの場合の反射率R(λ)を基準として-1%から+2.0%の範囲内となる前記波長λを含む連続する波長帯域幅△λを、前記波長λで割った値△λ/λが0.062以上である。

【選択図】 図5

特願2002-283438

出願人履歴情報

識別番号 [00006013]

1. 変更年月日 1990年 8月24日

[変更理由] 新規登録

住 所 東京都千代田区丸の内2丁目2番3号  
氏 名 三菱電機株式会社